

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

**Posouzení možnosti přípravy vhodných
směsí pro kompostování kalů z ÚČOV
Ostrava**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor práce: Bc. Barbora Lokajíčková
Vedoucí práce: prof. Ing. Helena Raclavská CSc

2015

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

The evaluation of possibilities of preparation of utilisable
mixtures for composting of sludge from waste water
treatment plant in Ostrava

Thesis

Author: Bc. Barbora Lokajíčková
Supervisor: prof. Ing. Helena Raclavská CSc

2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Barbora Lokajíčková**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství

Téma: **Posouzení možnosti přípravy vhodných směsí pro kompostování kalů z
ÚČOV Ostrava**
**The evaluation of possibilities of preparation of utilisable mixtures for
composting of sludge from waste water treatment plant in Ostrava**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Požadavky na vlastnosti směsí pro kompostování
3. Legislativní požadavky na jakost kompostů
4. Základní charakteristika kalů z ÚČOV Ostrava
 - 4.1 Obsah živin
 - 4.2 Mikropolutanty
5. Charakteristika alternativních komponent pro přípravu směsí ke kompostování
 - 5.1 BRO
 - 5.2 BRKO
6. Kompostování v zařízení Nature Mikro-Mill
7. Vyhodnocení
8. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Gao M., Yang L., Sun Y., Yu A. (2009): Change of polycyclic aromatic hydrocarbons during forced-aeration composting of anaerobic digested sludge and sawdust. 978-1-4244-2902-8/09, IEEE

Chen Y. (2012): Sewage Sludge Aerobic Composting Technology Research Progress. AASRI Procedia 1, 339 – 343

Kalina M. (2004): Kompostování a péče o půdu. GRADA Publishing, a.s., 1-166.

Oleszczuk P. (2007): Changes of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of sewage sludges with chosen physico-chemical properties and PAHs content. Chemosphere 67, 582–591

Pognani M., Barrena R., Font X., Adani F., Scaglia B., Sánchez A. (2011): Evolution of organic matter in a full-scale composting plant for the treatment of sewage sludge and biowaste by respiration techniques and pyrolysis-GC/MS. Bioresource Technology, 102, 4536–4543

Sadef Y., Tjalfé Gorm Poulsen T.G., Bester K. (2014): Modeling organic micro pollutant degradation kinetics during sewage sludge composting. Waste Management 34, 2007–2013

ŠREFL, Josef: Kompost je energie vrácená do půdy. Biom.cz [online]. 2012-11-12 [cit. 2014-11-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompost-je-energie-vcacena-do-pudy>>. ISSN: 1801-2655.

Zemánek P. (2010): Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. VUZT Praha, ISBN 978-80-86884-52-3, 1-110.

<http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2010/040.PDF>

<http://www.compostnetwork.info/compostnetwork/news.html>


<http://www.zeraagency.eu/>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.**

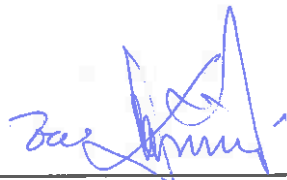
Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015



doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová
vedoucí institutu





prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
děkan fakulty

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. dubna 2015



Barbora Lokajíčková

ABSTRAKT

V mé diplomové práci se zabývám možnostmi kompostování s využitím kalů z čistírny odpadních vod. Společností OVAK a.s. mi byla poskytnuta data za roky 2010 až 2014, která jsem statisticky zpracovala.

V první části je popsáno samotné kompostování a požadavky na vlastnosti směsí k procesu kompostování. Následně je popsána legislativa, související s kompostováním odpadních kalů. V další části hovořím o charakteristice kalů z ÚČOV Ostrava, o obsahu živin a mikropolutantech v těchto kalech, dále o charakteristice alternativních komponent pro kompostování a výsledky mé práce.

Klíčová slova:

Kompost, odpadní kal, biologicky rozložitelný odpad, směs

ABSTRACT

This thesis is about the possibilities of composting by using the sludges from the wastewater treatment plant. The OVAK a.s. company provided me the datas from the year of 2010 to 2014 which I statically processed.

The first chapter is about the composting, there are also requirements of the mixture characters. It is followed by chapter about legislation related to the composting of the sewage sludges. The next chapter describes the sludges characteristic of the ÚČOV Ostrava and also the nutrient content and micropollutants in these sludges. There is also written about the alternative compost characteristics and about the results of this thesis.

Keywords:

compost, sewage sludge, biodegradable waste, combination

Poděkování

Chtěla bych moc poděkovat své vedoucí práce, paní prof. Ing. Heleně Raclavské za veškerou pomoc. Dále chci poděkovat společnosti OVAK a.s. za poskytnutí chemických rozborů odpadních vod z kanalizační sítě, které mi byly poskytnuty za roky 2010 až 2014. V poslední řadě bych chtěla poděkovat rodině a svým blízkým za podporu ve studiu.

OBSAH

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	1
2. POŽADAVKY NA VLASTNOSTI SMĚSÍ PRO KOMPOSTOVÁNÍ	2
2.1 Správná vlhkost.....	2
2.2 Vzduch	2
2.3 Složení výchozího materiálu.....	3
2. 4 Promíchávání	4
2.5 Fáze při procesu kompostování	6
3. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA JAKOST KOMPOSTŮ	8
3.1 Legislativní podmínky předcházení vzniku bioodpadů	9
4. ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA KALŮ Z ÚČOV OSTRAVA	10
4.1 Obsah živin.....	13
4.2 Mikropolutanty.....	19
4.2.1 Těžké kovy.....	19
4.2.2 Organické mikropolutanty	24
5. CHARAKTERISTIKA ALTERNATIVNÍCH KOMPONENT PRO PŘÍPRAVU SMĚSÍ KE KOMPOSTOVÁNÍ	30
5.1 Alternativní komponenty pro výrobu kompostů.....	32
5.2 Hygienizace a stabilizace kalu	33
5.3 Využití kompostu z odpadních kalů	34
5.3.1 Hnojení.....	34
5.3.2 Rekultivační substráty.....	34
5.3.3 Biopalivo.....	34
5.4 BRKO	35
6. KOMPOSTOVÁNÍ V ZAŘÍZENÍ NATURE MIKRO-MILL.....	38
7. VYHODNOCENÍ.....	40
8. ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:	43
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM TABULEK.....	50

SEZNAM ZKRATEK:

MŽP	Ministerstvo životního prostředí
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
SKO	Směsný komunální odpad
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
ČOV	Čistírna odpadních vod
OVAK a.s.	Ostravské vodárny a kanalizace akciová společnost
POPs	Persistentní organické polutanty
ŽP	Životní prostředí

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Produkce kalů z čistíren odpadních vod, která roste s rozvojem lidské společnosti, s sebou nese otázku, jak tyto odpadní kaly co nejlépe využít. Odpadní kal, který vzniká čištění odpadních vod, je významným zdrojem živin, které jsou potřebné pro růst rostlin. Surový kal však obsahuje řadu nebezpečných látek, proto je nutno upravit kal, aby nejevil nebezpečné vlastnosti.

Využití kalů pro kompostování je jedním z řešení nakládání s nimi. Kaly mohou být kompostovány, jestliže obsahují dostatečné množství organické složky a mají-li relevantní obsah vody. Aby mohl být materiál využíván efektivně ke kompostování, je požadován dostatečný obsah živin, vlhkost a schopnost aerace a vhodné podmínky pro existenci mikroorganismů.

Cílem práce byl návrh vhodného poměru jednotlivých složek kompostu, kde by se mohl uplatnit kal z ÚČOV Ostrava a biologicky rozložitelný komunální odpad vytríděný z SKO v rámci nakládání s komunálními odpady OZO Ostrava.

Pro dosažení cíle byl navržen následující postup:

- Charakteristika kalů z ÚČOV Ostrava – vývoj koncentrace majoritních složek a mikropolutantů v čase
- Charakteristika BRKO vyseparovaného z SKO, OZO Ostrava
- Výpočet vhodného poměru složek pro výrobu kompostu s cílem dosažení optimálního poměru C:N v kompostu
- Identifikace problematických parametrů z hlediska kvalitativních znaků kompostu vzhledem k jeho dalšímu využití

2. POŽADAVKY NA VLASTNOSTI SMĚSÍ PRO KOMPOSTOVÁNÍ

Kompostování je proces, který se obvykle rozděluje do tří fází. Tento proces zahrnuje předčištění, hlavní kvašení, pozdější zpracování a skladování [1].

Kompostování neboli aerobní tlení probíhá při zpracování materiálu nejrozličnějšími mikroorganismy (především bakteriemi a houbami), které pro svůj život potřebují velmi specifické podmínky. Tyto organismy jsou v přírodě hojně zastoupeny, stačí tak pouze zabezpečit životní podmínky pro tyto bakterie a houby, abychom mohli kompostovat [2].

Kompost je výsledný produkt rozkladu organické hmoty. Organická hmota může obsahovat: zahradní odpad, kuchyňské zbytky, hnůj, listí, posekanou trávu, slámu a další. Existuje mnoho způsobů kompostování, ale všechny organické hmoty se nakonec rozloží [3].

2.1 Správná vlhkost

Mikroorganismy potřebují zcela určité množství vody v potravě stejně jako každý živý organismus. Při nedostatku vody zastavují ihned svou činnost až do doby, kdy bude opět vlhčeji. Vlhkost čerstvého kompostu optimalizujeme na hodnotu, při níž je cca 70% objemu pórovitosti kompostu zaplněno vodou. Špatná, nedostatečná vlhkost může způsobit vývoj nevhodné mikroflóry, kde převažují plísňe a aktinomycety. Když je vlhkost nadbytečná, dochází rychle k deficitu kyslíku v kompostu a k vývoji anaerobní mikroflóry. Komposty s převahou zeminy vyžadují vlhkost 50 až 55% a komposty, kde převažují dřevní štěpky nebo stromové kůry vlhkost 65 až 70% [2], [4].

2.2 Vzduch

Bakterie a houby potřebují ke svému životu velké množství kyslíku. Největší spotřeba kyslíku probíhá ve velmi horké počáteční fázi tlení. Podle několika výpočtů je kyslík v této fázi v 1 m³ spotřebován během dvou hodin. To znamená, že materiál musí být

tak kyprý, aby vzduch mohl neustále procházet z vnějšku až do středu kompostu. Z tohoto důvodu je každý kryt, který nepropouští vzduch nepoužitelný [2].

Když je v kompostu dostatečné množství vzduchu, je velká většina plyných produktů oxidována na látky, které téměř nezapáchají. Pokud je v kompostu nedostatečný obsah vzdušného kyslíku, plyné produkty metabolismu mikroorganismů nemohou být plně oxidovány a do okolí se uvolňují látky, které lze velmi dobře poznat vzhledem k tomu, že silně zapáchají. Hovoříme zejména o amoniaku NH_3 , sulfanu, H_2S merkaptany a různé kyseliny jako jsou např. kyselina máselná, octová a mléčná. Kompost s deficitem kyslíku je tedy doprovázen kyselým až hnilobným zápachem. Samozřejmě materiály, které mají silný zápach již před založením kompostu, mohou nepříjemně zapáchat také v průběhu kompostování. V případě správné aerace bude zápach rychleji ztrácet svou sílu. Obsah kyslíku se nejčastěji měří odsáváním pomocí zapichovací tyče, která je dutá s perforací u hrotu a je propojena s měřicím přístrojem. Vzorek vzduchu, který je potřebný k měření je odsáván pomocí gumového balónku a s pomocí menšího elektrického čerpadla, nebo malé vývěvy [5].

2.3 Složení výchozího materiálu

Při kompostování je důležité, abychom do kompostu použili co nejvíce různých materiálů. Čím rozmanitější je výchozí směs, tím kvalitnější je konečný produkt. Při složení respektujeme poměr C:N. Optimální poměr je 20 až 30 : 1. Při nadbytku dusíku při kompostování dochází k úniku čpavku do ovzduší. Podobné je to i s uhlíkem, při jeho nadbytku dochází k úniku oxidu uhličitého do ovzduší. K dispozici je mnoho tabulek o poměru C:N u nejrůznějších výchozích materiálů [2].

Tabulka č. 1: Poměr C:N v některých surovinách ke kompostování [2]

Suroviny	C:N	Suroviny	C:N
Kůra	120 : 1	Drůbeží trus	10 : 1
Piliny	500 : 1	Močůvka	2 : 1
Papír, karton	350 : 1	Kejda skotu	10 : 1
Odpad z kuchyně	15 : 1	Hnůj skotu	25 : 1
Odpad ze zahrady	40 : 1	Sláma (žito, oves)	60 : 1
Listí	50 : 1	Sláma (pšenice, ječmen)	100 : 1
Posekaná tráva	20 : 1	Odpad z domácí zabíjačky	16 : 1



Obrázek č. 1: Poměr C:N u různých materiálů vhodných ke kompostování [6]

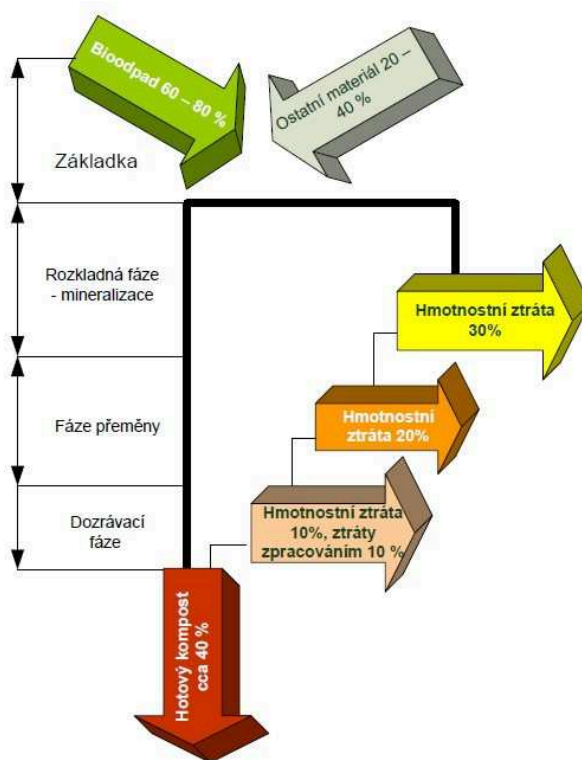
2. 4 Promíchávání

Při zrání kompostu se materiál rozpadá a rozkládá, kompost se přitom zmenšuje. Při zmenšování kompostu se ničí póry, jimiž proudí vzduch a vnitřek kompostu nemůže být optimálně zásobován kyslíkem. Proto se musí kompost pravidelně promíchávat. Veškerý materiál kompostu i jeho jádro musí být nepřerušovaně zásobeno kyslíkem. Dalším důvodem pro promíchávání je ten, že materiál musíme stále homogenizovat- suchý musíme promíchat s vlhkým a jemný s hrubým, abychom všude zajistili stejné podmínky pro tlení. Když je kompost správně založen, vytvářejí se po určitém čase na základě

různých podmínek pro tlení různé zóny. Zóna okrajová bývá často suchá, takže zde po určité době nemohou probíhat přeměny. Na základě odlišných podmínek pro tlení se tvoří po krátkém čase různé zóny. Zóna intenzivního tlení reaguje velmi odlišně podle materiálu a výchozí vlhkosti. Proces přeměny zde probíhá nejintenzivněji a materiál v kompostu se velmi rychle zahřívá. Často se stává, že tato oblast se vlivem vysoké teploty vyschne během 10 dnů, což se projeví bílým povlakem plísní. Při dostatečně vysoké výchozí vlhkosti probíhá tlení v této zóně jednoznačně nejlépe. Jádru kompostu je velmi často ohroženo nedostatkem kyslíku. Zabránit procesu hniloby můžeme:

- Ihned přimícháním suchého materiálu,
- Použít strukturnější materiál,
- Častějším promícháváním

Popsané tři zóny se musí tak dlouho promíchávat, až jsou částice tak stabilní, že se tyto zóny nebudou tvořit [2].



Obrázek č. 2: Sankeyův diagram pro proces kompostování [7]

2.5 Fáze při procesu kompostování

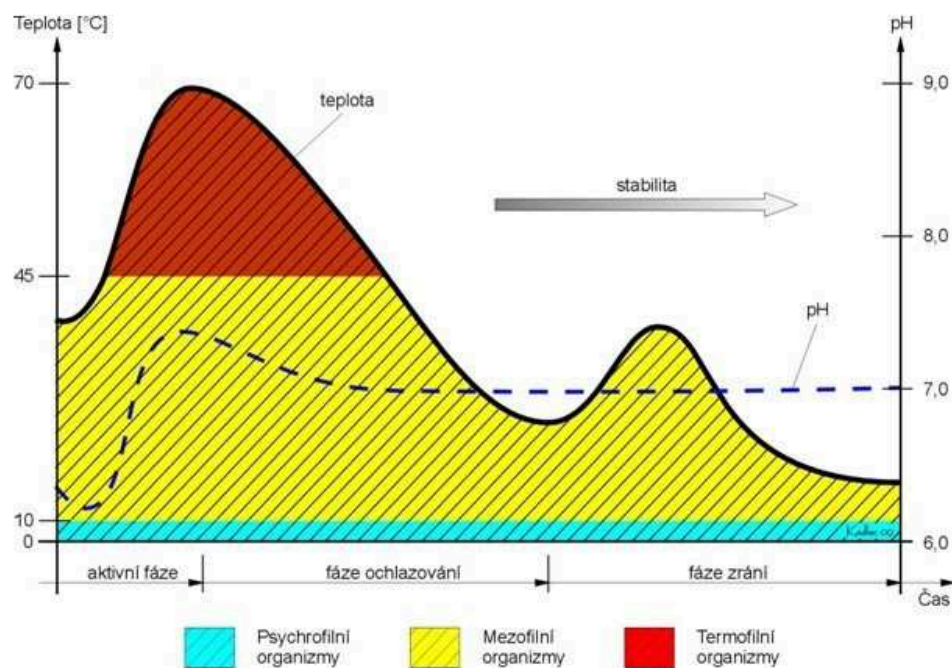
Kompostování je kontinuální proces, a proto nelze přesně vymezit úseky tlení. Přesto tento proces rozdělujeme do tří fází [2]:

1. Fáze- mineralizace: je vyznačena rychlým nárůstem teploty, v jádru kompostu může dosáhnout hodnot až přes 70 °C, následované rychlým poklesem. Mikroorganismy rozkládají složité organické sloučeniny na jednodušší, které mají anorganický charakter. V této fázi rovněž převládají chemické degradační reakce. Konečnými produkty těchto rozkladů jsou voda, oxid uhličitý a další látky. Když je v kompostu nadbytek dusíku ve směsi může vznikat amoniak. Mikroorganismy neumí odbourávat organické kyseliny, proto rychle roste množství těchto kyselin a tímto dochází k okyselení zakládky. Vzhled zakládky se zatím není příliš změněn, zápach zůstává stejný jako na počátku procesu. Kompostovaný materiál zatím nemá vlastnosti humusu a není možné jej aplikovat do půdy. V této fázi dochází k hygienizaci kompostu. Teplota materiálu hubí hnilobné a patogenní bakterie, navíc likviduje i klíčivost semen rostlin. Doba trvání první fáze je 12 dní [8].

2. Fáze- přeměny: vyznačuje se pomalým poklesem teploty až na 25 °C. Termofilní bakterie nahrazuje nová skupina mikroorganismů. U této fáze se střídají období rozvoje a útlumu činnosti mikrobiálních organismů. Při rozkladu hůře přístupných složek nastupují organismy zvané aktinomycety. Organické látky jsou pomalu přeměňovány na humusové složky. Humusové složky se váží na jílovité částice a přecházejí na stabilní formy, které jsou odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu. Při této fázi se může objevit i nenáročný hmyz, popřípadě i jiné organismy. Prvotní vzhled, struktura i pach materiálu se ztrácí. Kompost má hnědou barvu, jednotlivé částice se rozkládají. Mízi fytotoxicita a výluhy kompostu jsou hygienicky nezávadné. Ke konci této fáze jde již kompost použít jako hnojivo. Tento proces trvá 12 až 35 dnů [8].

- 3. Fáze – zralosti:** teplota v této fázi klesá na hodnotu okolí. Vytváří se vazby mezi anorganickými a organickými látkami a dochází ke tvorbě stabilního a kvalitního humusu. Kompost už je v této fázi prakticky vyzrálý, objevují se kokovité bakterie, které jsou představitelé autochtonní mikroflóry- malé živočichové, roztoči, hmyz, žížaly a další organismy. Celkové snížení hmotnosti od začátku procesu kompostování může činit až 40 %. Tato fáze trvá 35 až 56 dnů [8].

O délce těchto fází rozhoduje samotná technologie, skladba komponent, podmínky při kompostování, ale i jiné faktory, jako je například roční období nebo klimatické excesy [8].



Obrázek č. 3: Fáze kompostování [9]

3. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA JAKOST KOMPOSTŮ

- **Novela č. 229/2014 Sb.** zákona o odpadech č. **185/2001 Sb.**, která obcím přináší základní povinnost odděleného sběru bioodpadů.
- **Vyhláška MŽP č. 321/2014 Sb.** v §2 upravuje rozsah a způsobu zajištění odděleného soustředování složek bioodpadů.
- Legislativní požadavky týkající se sběru a zpracování bioodpadů vycházejí především ze zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech. Důležitý je především § 12 zákona o odpadech, kde jsou stanoveny obecné povinnosti při nakládání s odpady, dále v § 16 zákona o odpadech, kde jsou stanoveny povinnosti původců odpadů.
- Příloha č. 1 **vyhlášky č. 381/2001 Sb.** Katalog odpadů.
- **Vyhláška 341/2008 Sb.** o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady).
- **Vyhláška č. 294/2005 Sb.**, o podmínkách ukládání odpadu na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změna vyhlášky 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.
- **Vyhláška č. 474/2000 Sb.** o stanovení požadavků na hnojiva.
- **Zákon. č. 254/2001 Sb.** o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- § 58 vyhlášky č. 299/2003 Sb. o opatřeních pro předcházení a zdolávání nákaz a nemocí přenosných ze zvířat na člověka.
- Nařízení evropského parlamentu a rady **(ES) č. 1069/2009**, ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu).
- Nařízení evropského parlamentu a rady **(ES) č. 853/2004** ze dne 29. dubna 2004, kterým se stanoví zvláštní hygienická pravidla pro potraviny živočišného původu [10].

- **Vyhláška č.321/2014 o sběru BRKO v obcích-** Od 1. dubna 2015 se v obcích rozběhl povinný sběr biologicky rozložitelného komunálního [11].

3.1 Legislativní podmínky předcházení vzniku bioodpadů

Základní normou pro snižování BRKO ve SKO je samotný zákon č.185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, který definuje pojem odpad.

Hierarchie způsobů nakládání s odpady

Podle § 9a zákona 185/2001 Sb. o odpadech je třeba vždy dodržovat:

- a) předcházení vzniku odpadů,
- b) příprava k opětovnému použití,
- c) recyklace odpadů,
- d) jiné využití odpadů, například energetické využití,
- e) odstranění odpadů.

Povinnost předcházet vzniku odpadů se opírá o §10, zákona o odpadech kde je povinnost předcházet vzniku odpadů ustanovena.

Nejvíce prostoru pro předcházení vzniku bioodpadů je v domácnostech a v provozovnách, kde jsou zbytky organického materiálu přepracovávány opět pro potřeby domácností či provozoven. Bioodpady jsou jediným odpadem, který lze 100 % recyklovat a vyrábět z něj vysoce kvalitní hnojivo neboli kompost. Pokud občané bioodpad zpracovávají sami, nejedná se o bioodpad, ale o organický materiál. Tento materiál, který se při zpracování svépomocí nestává bioodpadem, lze rovněž nazvat jako rostlinné zbytky nebo také kuchyňské zbytky.

Organický materiál poté nevstupuje do evidence odpadů a jeho vytríděním ze SKO klesá podíl BRKO ve SKO, rovněž se snižuje celkové množství SKO. Při stanovování cílů odpadového hospodářství v obci je nutné se specifikovat na podíl BRKO ve SKO a snižování celkového množství BRKO, SKO a množství bioodpadů ukládaných na skládky [10].

4 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA KALŮ Z ÚČOV OSTRAVA

Ústřední čistírna odpadních vod neboli ÚČOV v Ostravě-Přívoze byla uvedena do provozu v roce 1996 a plně nahradila v té době již zastaralé ČOV v Přívoze, Třebovicích a Zábřehu. Kapacita čištění činí 638 850 EO. Provozovatelem ÚČOV je Společnost Ostravské vodárny a kanalizace a.s. (OVAK a.s.). Koncepce čištění je založena na mechanickobiologickém čištění splaškových a průmyslových odpadních vod. Technologická část čištění v této ÚČOV je založena na principu nízkozatížené aktivace s nitrifikací a předřazenou denitrifikací, s odvodňováním anaerobně stabilizovaného kalu na odstředivkách a s automatizovaným systémem řízení technologických systémů. Biologické čištění je tvořeno aktivačními a dosazovacími nádržemi s čerpacími stanicemi, kde je kal vrácen [12].

Kal je nevyhnutelným odpadem, který vzniká při procesu čištění odpadních vod. Každá znečištěná voda, která přichází na ČOV má v závislosti na svém původu charakteristické složení, dané množstvím a druhem toxických látek, patogenních organismů a těžkých kovů. Abychom jsme zabránili ohrožení lidského zdraví, ale také negativním dopadům na životní prostředí, je nutné snížit množství těchto látek na minimum. Technologické procesy čištění odpadních vod komunálních či průmyslových jsou založeny na třech stupních. První stupeň znamená mechanické předčištění, následuje biologické čištění a proces chemického dočištění. V každém z těchto stupňů technologických procesů je z odpadní vody odstraňováno znečištění do určité míry. Čistírenský kal představuje veškeré suspendované látky, které nezachyceny projdou hrubým předčištěním ČOV (lapákem šterku, česlemi, lapákem písku, apod.), případně mohou vzniknout během vlastního procesu čištění odpadních vod. Podle místa vzniku nebo separace, dále podle procesu, kterým kal vznikl nebo prošel, rozděluje kal primární a kal sekundární [13].

Odpadní kal je směsí vody a pevných látek. Vzniká při procesu čištění odpadních vod. Jedná se o nezbytnou součást při tomto procesu. V kalech je zakoncentrováno 50 až 80% původního znečištění.

Surový kal je kal, který nebyl stabilizován a podle toho, v jaké části systému čištění je odebírán, rozlišujeme:

a) Primární kal – jedná se o kal, který se odděluje ze surové odpadní vody v separačních zařízeních (např. usazovací nádrže), má biologickou povahu, složení tohoto kalu je dáno především charakterem přitékající odpadní vody.

b) Sekundární neboli přebytečný aktivovaný kal – jedná se o kal, který je oddělován v dosazovací nádrži z biologického stupně čištění, složení je ovlivněno jak složením surové odpadní vody, tak technologickým způsobem čištění.

c) Terciární kal – jedná se o kal, který pochází z chemického srážení.

Další formy kalů:

a) Aktivovaný kal – obsahuje mikroorganismy, které rozkládají organické látky.

b) Stabilizovaný neboli vyhnílý kal – anaerobně zmineralizovaný, nepodléhá mikrobiálnímu rozkladu [12].

Tabulka č. 2: Mikrobiologické ukazatele- salmonela v kalech z ÚČOV Ostrava

Salmonela	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2010	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní
2011	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní
2012	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní
2013	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní
2014	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní

Tabulka č. 3: Mikrobiologické ukazatele- enterokoky v kalech z ÚČOV Ostrava

Enterokoky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2010	1700	<0,50	55100	15300	67000	140000	<0,50	14000	7100	9700	<0,50	<0,50
2011	133000	910	< 50	< 50	7800000	1600000	< 50	1600000	120	9500000	13600	680
2012	19000	1500	27000	<50	270000	<50	9400000	127000	22500000	250000	2400000	<50
2013	21000	<50	<50	<50	<50	$5,6 \times 10^5$	<50	$2,76 \times 10^4$	<50	<50	$1,2 \times 10^6$	$6,72 \times 10^6$
2014	$1,12 \times 10^5$	<50	<50	<50	<50	<50	<50	$1,4 \times 10^3$	<50	$1,04 \times 10^4$	<50	<50

Tabulka č. 4: Mikrobiologické ukazatele- termotol. Kolif. Bakterie v kalech z ÚČOV Ostrava

Termotol. kolif. bakt.	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2010	<50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	2080	<0,50	500000	1800000	<0,50	<0,50	<0,50
2011	350	7700	8400	< 50	1100000	< 50	< 50	240000	2400	150000	< 50	< 50
2012	2700	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	31000000	3900000	1600000	27000	53000	<50
2013	530000	<50	<50	<50	<50	$1,3 \times 10^7$	<50	$3,2 \times 10^7$	<50	<50	$1,4 \times 10^6$	$3,84 \times 10^5$
2014	$1,1 \times 10^7$	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	$1,44 \times 10^4$	<50	<50

Vodní prostředí patří mezi přirozené místo pro výskyt mikroorganismů, z nichž bakterie patří mezi největší skupinu. Výskyt bakterií ve vodách je nejčastější problém studní, které se nacházející blízko polí, nebo neuzavřených septiků. Bakterie se však mohou vyskytovat i v již upravené pitné vodě. Mikrobiologické ukazatele v kalech jsou ukazatelem nemoci a zdraví obyvatel v dané kanalizační síti. V kalech z čistírny odpadních vod Ostrava se měří tyto mikrobiologické ukazatele [16]:

Salmonela

Salmonely se obvykle nachází v zažívacím traktu plazů, ptáků, hmyzu a člověka. Do životního prostředí jsou vylučovány pomocí fekálií. Příčinou nemoci salmonelózy člověka bývá obvykle syrové maso a to nejčastěji drůbeží a vepřové. Dále se salmonela může vyskytovat v lahůdkářských výrobcích, u kterých je vysoký podíl ruční práce. Riziková je i konzumace mléka, které je syrové [14].

Enterokoky

Enterokoky, jsou bakterie, které jsou přítomny v odpadních vodách a fekáliích živočichů a člověka. V některých případech se mohou určité druhy množit i v půdě a na vegetaci, která nebyla fekálně znečištěna [15].

Koliformní bakterie

Koliformní bakterie najdeme v trávicím ústrojí různých živočichů včetně člověka. Koliformní bakterie ve vodě jsou hlavním signálem fekálního znečištění. Koliformní bakterie mohou způsobit průjem, zvracení a celkovou nevolnost [16].

Z předchozích tabulek biologických ukazatelů lze vyčíst, že pouze salmonela byla ve všech letech i měsících negativní. Ostatní mikrobiologické ukazatele dosáhly překročení ve všech letech.

4.1 Obsah živin

Chemické i biologické složení čistírenských kalů závisí zvláště na technologii ČOV a na průběhu procesů ošetření kalů. Živiny, které jsou obsaženy v čistírenských kalech, zvyšují význam jejich použití na zemědělskou půdu. Obsah živin, zejména dusíku, je

jedním z hlavních ukazatelů, pro stanovení dávky odpadních kalů. Zastoupení živin, obzvláště dusíku, může kolísat, a je proto nutné provést rozbor aplikovaného kalu. Obsah těchto živin v kalech je zpravidla vyšší, než u stájových hnojiv, s výjimkou draslíku, kterého je ve většině případu méně než 0,5 % [17].

Dle vyhlášky 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady by kvalitní kompost měl vykazovat tyto důležité parametry:

- Vlhkost 40 – 65 %,
- pH 6,0 – 8,5
- Spalitelné látky v sušině vzorku min 25 % hm.
- Celkový dusík přepočtený na vysušený vzorek min. 0,6 % hm.
- Poměr C: N min 20 : 1, max 30 : 1
- Nerozložitelné příměsi max 2,0 % hm. [17]

Příprava surovin do kompostu je ovlivněna správným smísením jednotlivých složek kompostu na základě obsahu hlavních prvků biomasy, a to uhlíku a dusíku. V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty ze 12 měsíčních odběrů prováděných každý rok.

Tabulka č. 5: Základní statistické parametry obsahu celkového dusíku v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině)

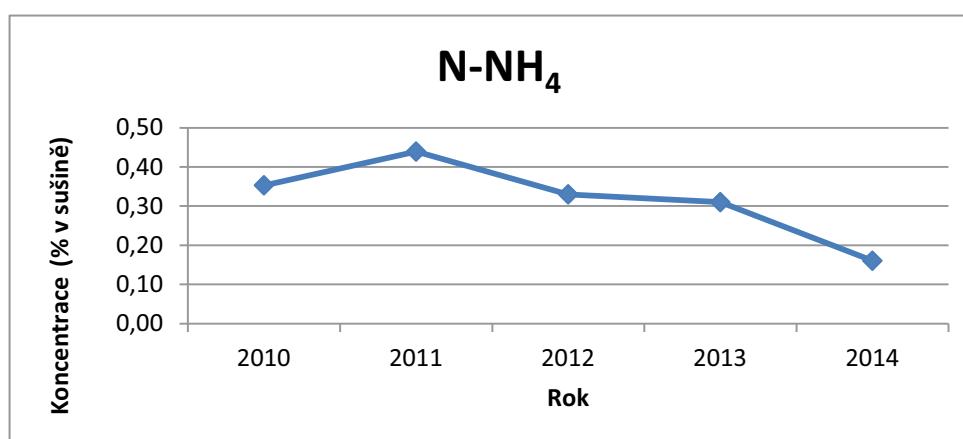
Nc (%)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	2,78	2,65	4,40	1,90	0,73
2011	2,78	2,75	3,60	1,90	0,47
2012	3,08	3,25	3,80	2,00	0,53
2013	3,05	3,15	3,40	2,50	0,29
2014	2,11	2,00	3,30	1,30	0,53

Z tabulky č. 5 je zřejmý rozptyl koncentrace Ncelk, obvykle se v kalech z ČOV vyskytuje 2 – 3% Ncelk. Koncentrace Ncelk v kalu může být významně ovlivněna vápněním.

V tabulce č. 6 jsou uvedeny obsahy amoniakálního dusíku v sušině kalu, které jsou vypočteny ze 12 odběrů prováděných měsíčně. Amoniakální dusík má vyrovnané obsahy, jeho koncentrace od roku 2011 postupně klesá, až na cca 1/3 původní koncentrace.

Tabulka č. 6: Základní statistické parametry koncentrace amoniakálního dusíku v kalech z ÚČOV Ostrava

N-NH ₄ (%)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	0,35	0,30	0,77	0,06	0,25
2011	0,44	0,40	0,74	0,26	0,14
2012	0,33	0,32	0,58	0,12	0,15
2013	0,31	0,29	0,55	0,08	0,15
2014	0,16	0,09	0,41	0,06	0,12

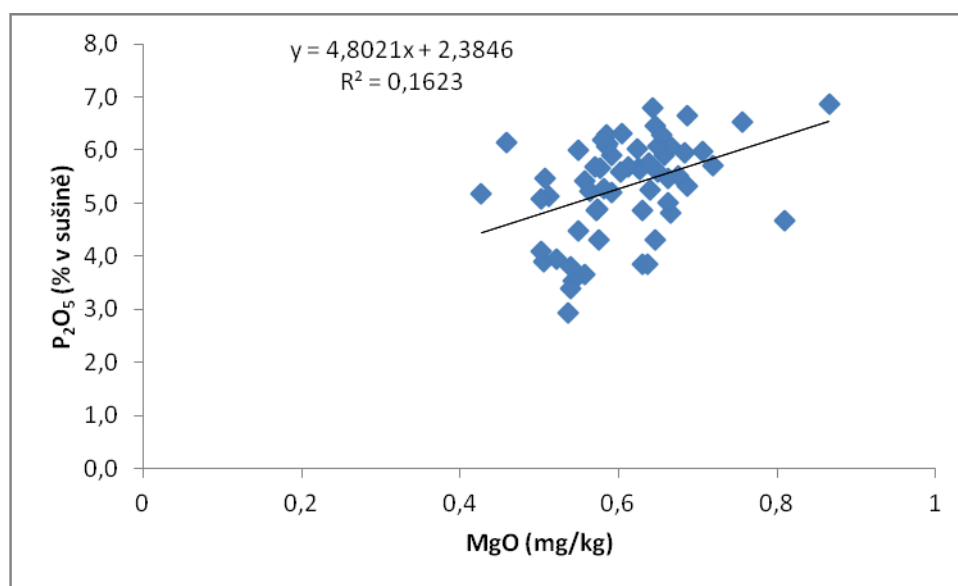


Obrázek č. 4: Vývoj amoniakálního dusíku v čase v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině)

V tabulce č. 7 jsou uvedeny průměrné obsahy koncentrace P₂O₅, které jsou poměrně vyrovnané, v roce 2014 byla naměřena nejnižší průměrná koncentrace v kalu z ČOV v Ostravě. Na obrázku je uvedena statisticky významná závislost mezi obsahem P₂O₅ a MgO. Z výsledků je zřejmé, že přesto, že je hlavním minerálem obsažným v kalu vivianit (fosforečnan železitý) je pravděpodobné, že se určitá část fosforu vyskytuje i ve formě minerálu struvitu (MgNH₄PO₄·6H₂O) [18], [19].

Tabulka č. 7: Základní statistické parametry koncentrace P_2O_5 v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině)

P_2O_5 (%)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	5,023	5,160	6,150	3,910	0,632
2011	5,548	5,675	6,320	4,300	0,597
2012	5,773	6,025	6,790	3,850	0,790
2013	5,892	5,865	6,860	5,250	0,456
2014	4,293	3,890	6,300	2,930	0,974



Obrázek č. 5: Závislost P_2O_5 (% v sušině) a MgO (mg/kg v sušině)

Významnou živinou podporující biochemické procesy je draslík. V kalech je stanoven ve formě K_2O . V tabulce č. 8 jsou uvedeny koncentrace K_2O jako průměrné roční hodnoty ze 12 odběrů. Obsahy K_2O v jednotlivých letech výrazně nekolísají.

Tabulka č. 8: Základní statistické parametry koncentrace K_2O v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině)

K_2O (%)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	0,232	0,235	0,290	0,143	0,036
2011	0,296	0,308	0,334	0,204	0,038
2012	0,269	0,280	0,312	0,196	0,032
2013	0,288	0,289	0,324	0,242	0,026
2014	0,240	0,234	0,371	0,135	0,068

Obsah CaO v kalu je významně ovlivněn procesem hygienizace – vápněním. Odhadované množství přídatku CaO při hygienizaci se obvykle pohybuje okolo 10 – 20 % přepočteno na sušiny [18].

Tabulka č. 9: Základní statistické parametry pro koncentraci CaO v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině)

CaO (%)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	13,285	10,900	24,300	5,500	5,884
2011	12,767	12,400	17,100	10,500	1,681
2012	14,550	14,700	19,400	8,600	2,921
2013	13,843	14,450	19,500	7,600	3,434
2014	26,817	29,600	37,600	12,000	7,907

Obsah sušiny je důležitým parametrem pro kompostování, kdy se za nejvhodnější považuje materiál o maximální vlhkosti 55 %.

Tabulka č. 10: Základní statistické parametry pro obsah sušiny v kalech z ÚČOV Ostrava (%)

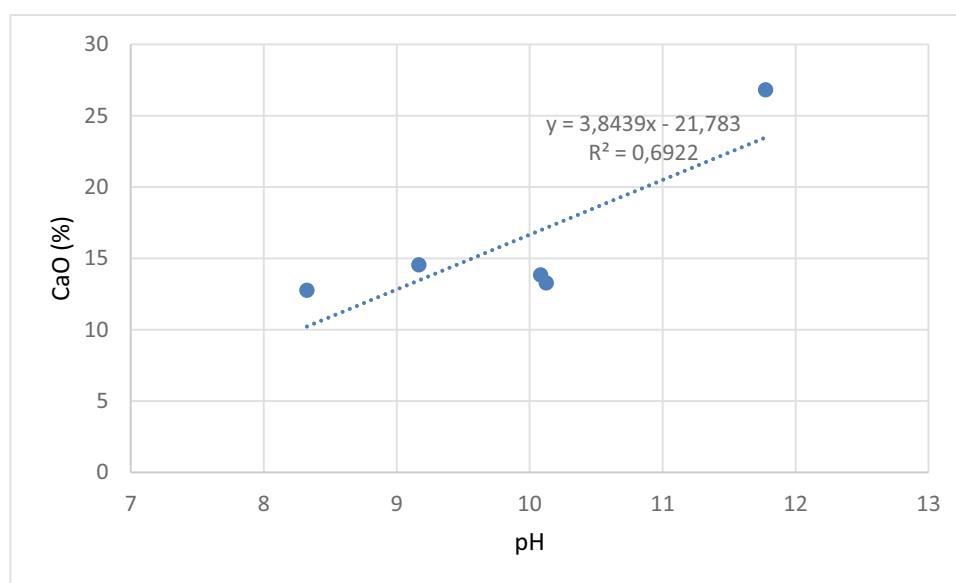
Sušina (%)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	33,208	31,350	45,100	26,700	5,567
2011	34,075	31,850	42,700	28,700	5,067
2012	32,242	31,050	42,500	25,700	4,741
2013	30,783	30,200	43,000	23,300	5,516
2014	39,033	40,450	45,500	25,000	5,784

pH je klíčovým parametrem pro kompostování. Výrazně alkalické pH může inhibovat činnost mikroorganismů, u bakterií *Vibrio fischeri* byla prokázána významná

inhibice při pH na 10. Z obrázku č. 6 je zřejmé, že přidavek CaO výrazně ovlivňuje hodnotu pH kalu.

Tabulka č. 11: Základní statistické parametry pro acidobazickou reakci v kalech z ÚČOV Ostrava

pH	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	10,125	9,800	12,800	7,800	2,045
2011	8,325	8,150	9,600	7,900	0,543
2012	9,167	8,950	11,200	8,200	0,816
2013	10,083	9,900	12,500	8,000	1,645
2014	11,775	12,500	12,800	8,100	1,618



Obrázek č. 6: Závislost mezi pH o obsahem CaO (% v sušině)

4.2 Mikropolutanty

Čistírenské kaly jsou složitou heterogenní suspenzí anorganických i organických látek z odpadních vod, které vznikají při technologických procesech čištění odpadních vod. Tyto kaly jsou bohatým zdrojem organické hmoty, základních živin a stopových prvků, při správném nakládání mohou zlepšovat fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půd. Mezi mikropolutanty v kalech řadíme zejména těžké kovy a organické polutanty [20].

4.2.1 Těžké kovy

Termín těžký kov se týká jakéhokoliv kovového chemického prvku, který má relativně vysokou hustotu, je toxický, nebo má jedovaté vlastnosti při nízkých koncentracích. Těžké kovy jsou nebezpečné, protože mají tendenci bioakumulace [21].

V kalech z čistíren odpadních vod se těžké kovy vyskytují především v nerozpustné formě. Dostupnost těchto kovů z čistírenských kalů pro rostliny je dána zejména půdními vlastnostmi, stejně tak mobilita těžkých kovů v půdě po aplikaci kalů z ČOV závisí hlavně na chem. a fyz. vlastnostech systému kal-půda. Výskyt více než jednoho těžkého kovu v kalech v nadměrném množství, které jsou následně použity na zemědělskou půdu, může způsobit zesílenou toxicitu půdy. Dostupnost těchto kovů pocházejících z ČOV klesá v pořadí $(Cd + Zn) > (Ni + Cu) > (Pb + Cr)$ [22].

V tabulce č. 12 jsou uvedeny základní statistické parametry koncentrace As od roku 2010 do roku 2014. Z tabulky je zřejmé, že s výjimkou roku 2011 jsou koncentrace poměrně vyrovnané. Průměrný obsah v roce 2014 byl nejnižší za sledované období.

Tabulka č. 12: Základní statistické parametry obsahu As v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

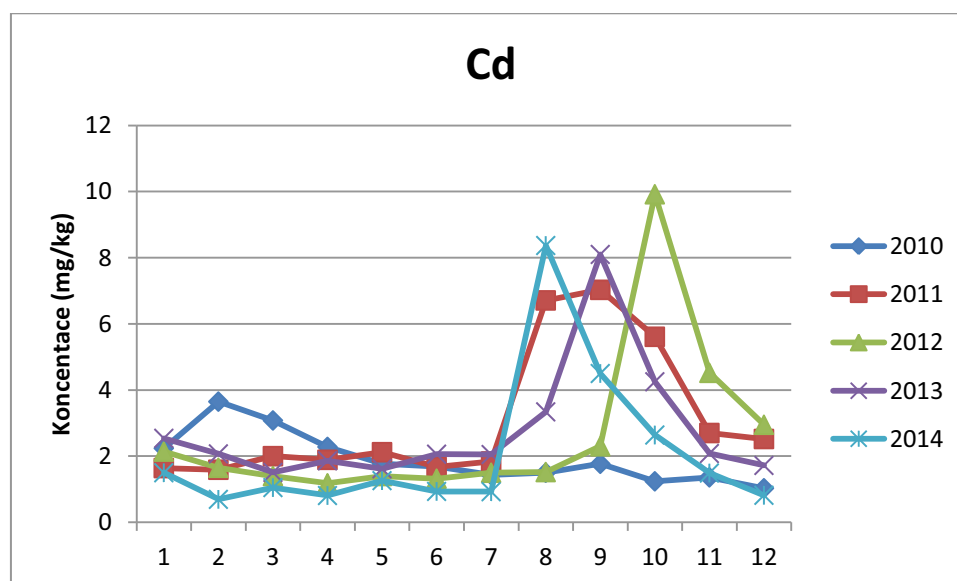
As	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	9,94	9,56	15,60	7,88	2,07
2011	16,37	17,35	19,30	10,90	2,80
2012	8,59	8,88	10,40	4,13	1,66
2013	8,81	8,90	11,20	6,00	1,37
2014	7,09	7,02	9,10	4,94	1,47

Obsahy Cd v kalech vykazují od roku 2011 trend snižování. Z lineární regresní analýzy vyplývá, že mezi obsahy As a Cd byla prokázána statisticky významná korelační závislost ($r = 0.64$), což charakterizuje společný původ obou prvků.

Tabulka č. 13: Základní statistické parametry obsahu Cd v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Cd	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	1,92	1,73	3,65	1,03	0,74
2011	3,11	2,06	7,03	1,59	1,98
2012	2,65	1,59	9,92	1,18	2,37
2013	2,77	2,07	8,10	1,51	1,77
2014	2,08	1,16	8,37	0,70	2,16

Na obrázku č. 7 v liniovém grafu je zaznamenán průběh obsahu Cd v sušině kalu během jednotlivých měsíců. Z obrázku je zřejmý trend zvýšeného obsahu Cd v 8. -10. měsíci v letech 2010-2013. Pouze v roce 2014 byl tento trend porušen a obsahy jsou téměř konstantní. Nárůst Cd v těchto měsících pravděpodobně souvisí s dovozem odpadních ČOV na ÚČOV Ostrava.



Obrázek č. 7: Vývoj obsahu Cd v jednotlivých měsících

Významným prvkem, který pochází z galvanoven a mořiren je Cr. Obsahy Cr v kalu z ÚČOV od roku 2010 významně klesají, v roce 2014 je to o cca 1/3 ve srovnání s rokem 2010. Mezi obsahem Cr a As byla prokázána statisticky významná lineární závislost, která je vyjádřena hodnotou koeficientu korelace $r=0.64$. Podobně jako u Cr také u Cu byl zjištěn nejnižší průměrný obsah v roce 2014, kdy ve srovnání s rokem 2010 hodnota poklesla také o cca 1/3. I v tomto případě byla prokázána statisticky významná závislost mezi obsahem Cu a Cr s hodnotou koeficientu korelace $r = 0.64$.

Tabulka č. 14: Základní statistické parametry obsahu Cr v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Cr	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	57,27	57,95	81,40	35,10	13,11
2011	54,29	54,00	62,40	45,40	5,50
2012	46,74	44,75	86,30	33,70	13,52
2013	46,76	44,80	68,50	36,10	9,12
2014	40,44	36,85	82,50	19,80	18,64

Tabulka č. 15: Základní statistické parametry obsahu Cu v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Cu	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	155,58	159,00	240,00	100,00	38,96
2011	150,25	154,00	182,00	100,00	18,58
2012	150,42	149,50	210,00	115,00	29,72
2013	163,00	151,00	207,00	124,00	29,34
2014	106,83	96,55	172,00	69,80	30,06

Tabulka č. 16: Základní statistické parametry obsahu Hg v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Hg	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	1,93	1,93	2,90	1,14	0,47
2011	2,33	2,33	3,46	1,64	0,56
2012	2,17	1,81	6,37	1,11	1,30
2013	2,05	1,72	4,96	1,46	0,90
2014	1,56	1,33	2,89	1,12	0,50

Z tabulky č. 16 je zřejmé, že také obsah Hg v kalu z ÚČOV v roce 2014 poklesl o cca 43 % ve srovnání s rokem 2011, kdy byl obsah Hg nejvyšší. Podobné chování jako Hg vykazuje i Ni, kdy se ve srovnání s rokem 2011 snížil obsah Ni v kalu o více než 50 %. Podobná situace byla prokázána i pro Pb, kdy se obsahy v roce 2014 snížily cca 1/3 ve srovnání s ostatními roky. Snižování obsahu Pb nevykazuje stejný trend jako u jiných kovů.

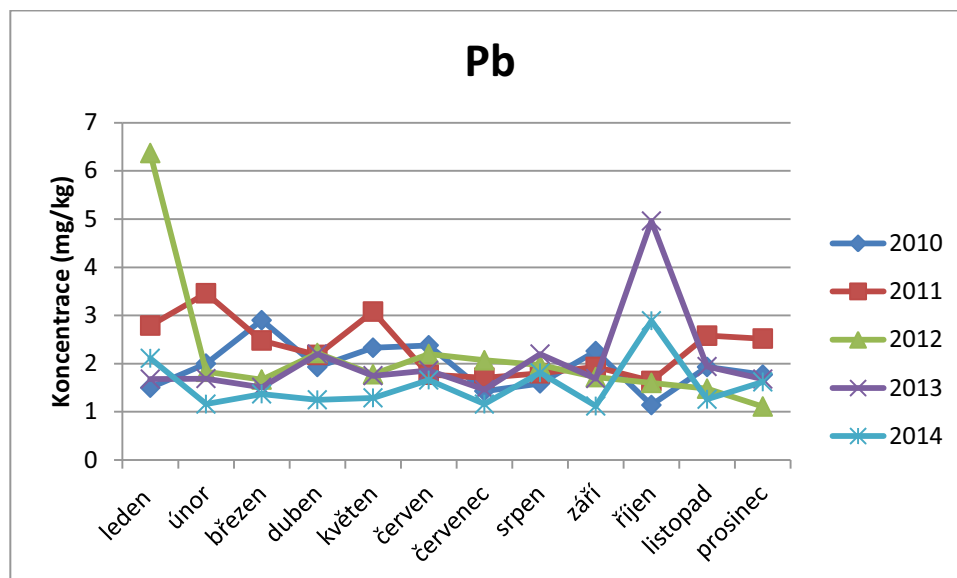
Tabulka č. 17: Základní statistické parametry obsahu Ni v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Ni	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	39,42	36,40	64,40	27,10	10,38
2011	70,41	58,40	159,00	39,60	35,54
2012	44,29	39,65	71,30	32,00	11,57
2013	42,33	37,40	66,20	27,40	12,40
2014	29,38	24,20	60,70	14,20	13,33

Tabulka č. 18: Základní statistické parametry obsahu Pb v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Pb	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	47,78	45,40	72,00	26,70	14,26
2011	48,22	46,80	62,20	33,20	9,55
2012	47,40	46,25	66,30	31,60	12,08
2013	48,53	47,05	72,90	27,50	12,62
2014	29,43	27,25	49,30	8,90	12,73

U obsahu Pb v kalové sušině se neprojevuje tak výrazný trend závislosti mezi obsahem a dobou odběru, jak tomu bylo u Cd.



Obrázek č. 8: Vývoj obsahu Cd v jednotlivých měsících

Zinek je prvkem, který se do odpadních vod dostává z kosmetických a čistících přípravků, z potravin apod. Jeho obsahy jsou poměrně vyrovnané.

Tabulka č. 19: Základní statistické parametry v obsahu Zn v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině)

Zn	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	1064,00	1060,00	1520,00	754,00	229,38
2011	1000,83	985,00	1120,00	839,00	78,58
2012	1111,58	1110,00	1710,00	840,00	249,54
2013	1127,08	1085,00	1470,00	896,00	179,43
2014	1032,00	1002,50	1590,00	687,00	288,90

Ze sledování obsahu těžkých kovů v kalech z ÚČOV od roku 2010 do roku 2014 vyplývá:

- As, Cd, Hg a Ni vykazují stejný trend – nejvyšší obsahy v roce 2011, od roku 2011 koncentrace klesají.
- U Cu, Cr a Pb nebyl zjištěn nejvyšší obsah v kalu v roce 2011, v ostatních letech jsou obsahy prvků poměrně vyrovnané, ale v roce 2014 je obsah nejnižší.
- Obsahy Zn v závislosti na čase nevykazují žádný trend, obsah se ani v roce 2014 výrazně nesnížil.

V tabulce č. 20 jsou uvedeny požadavky na kvalitu surovin pro výrobu kompostů podle požadavků EU. Z tabulky je zřejmé, že všechny sledované kovy splňují požadavky kvality surovin a navíc splňují i požadavky uváděné ve vyhlášce č.382/2001 Sb. Pro použití kalů při úpravě terénu nesplňuje limity Cd a Hg, hodnoty v roce 2014 byly cca dvojnásobně vyšší. Při použití kalů pro výrobu rekultivačního substrátu se musí jít cestou výrobku [18].

Tabulka č. 20: Požadavky na obsah kovů v surovinách pro výrobu kompostu dle EU [18]

Prvek	Suroviny pro výrobu kompostu	Kal z ÚČOV - 2014	Limity dle vyhlášky č. 382/2001 Sb.	Limity dle vyhlášky č.294/205 Sb.
	(mg/kg sušiny)			
As	50	7,093	30	10
Cd	13	2,083	5	1
Cr	1000	40,44	200	200
Cu	1200	106,82	500	
Hg	10	1,55	4	0,8
Mo	25			
Ni	200	29,83	100	80
Pb	500	29,42	200	100
Zn	3000	1032	2500	
V				180

Vysvětlivky: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů), limity dle vyhlášky č.294/2005 Sb.

4.2.2 Organické mikropolutanty

V odpadních kalech byl charakterizován výskyt 516 organických sloučenin, které jsou rozděleny do 14 skupin se snahou definovat limity obsahů na základě údajů, které jsou používány pro analýzu rizik u půd podle EPA (SSLs - Risk based soil screening limits). U 79 chemických látek, které jsou definovány SSLs byla tato hodnota překročena o 86 %. 83 % z 516 definovaných organických sloučenin obsažených v kalech, není na seznamu prioritních polutantů dle US EPA [18].

Perzistentní organické polutanty (POPs) jsou chemické látky, které přetrvávají v životním prostředí, bioakumulací se dostávají do potravních řetězců a představují riziko vzniku nežádoucích účinků na lidské zdraví a životní prostředí. V přírodě tyto látky

ovlivňují vývoj a růst rostlin a zvířat. Mohou způsobit sníženou reprodukční schopnost, vrozené vady, změny v chování, v nejhorších případech i smrt [23].

Výzkumem persistentních organických polutantů v kalech čistíren odpadních vod se dlouhodobě zabírala již řada zahraničních pracovišť, v posledních letech je tato problematika sledována i v ČR např. monitoring UKZZ. V rámci výzkumů byla věnována pozornost hlavně obsahům jednotlivých skupin POP v kalech a vstupu těchto POP do půd. Bylo zjištěno, že kaly ČOV jsou významným zdrojem POP a jejich dlouhodobější aplikace může vést k nárůstu koncentrací těchto látek v půdách. Z těchto důvodů byl v rámci Evropské unie předložen návrh novelizace směrnice 86/278/EEC, která uvádí doporučené rozpětí obsahů šesti rizikových prvků, ke kterým patří Cd, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn. Tento návrh novelizace byl ve formě pracovního dokumentu (Working document on sludge) zpřístupněn i odborné veřejnosti. Materiál obsahoval zpřísnění dosavadních kritérií platné směrnice a zároveň zavedl také kritéria nová. Stanovil maximální koncentrace pro sedm skupin POP, sumu organicky vázaných halogenů (AOX), lineární alkylbenzeny (LAS), di(2-ethylhexyl)ftaláty (DEHP), nonylfenoly a nonylfenoloxyláty (NPE), sumu polyaromatických uhlovodíků (PAU) a sumu sedmi kongenerů PCB. Následně byla stanovena maximální hodnota mezinárodního toxického ekvivalentu (I-TEQ) pro polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDD/F). Přijetí pracovního dokumentu legislativou EU bylo komplikováno zájmy různých skupin a finančními omezeními, které se odvíjejí od vysoké ceny analýz POP. Ve finální fázi nebyl předložen návrh, zůstává tedy akceptována původní verze směrnice 86/278/EEC [24].

V současné době se podle platné legislativy v kalech sledují podle vyhlášky č.294/2005 Sb. o nakládání s odpady: BTEX, EOX, NEL, PAU, PCB podle vyhlášky č. 382/2001 Sb. jsou to AOX (500 mg/kg sušiny) a PCB – suma 6 kongenerů (0.6 mg/kg).

V tabulce č. 21 jsou uvedeny výsledky průměrných obsahů EOX (org. vázané halogeny extrahovatelné hexanem). Z tabulky vyplývá, že od roku 2010 se průměrné obsahy EOX snižují, v roce 2014 se snížila jejich koncentrace na ½ hodnoty roku 2010.

Tabulka č. 21: Základní statistické parametry- vývoj obsahů EOX v čase (mg/kg v sušině)

EOX	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	19,90	22,50	31,00	3,40	9,42
2011	8,91	8,40	16,00	3,10	3,53
2012	12,92	11,50	22,00	8,40	4,33
2013	10,21	8,60	16,00	5,00	3,68
2014	9,28	3,50	61,00	1,10	16,21

Podobný vývoj jako u EOX lze pozorovat u AOX (org. vázané halogeny adsorbovatelné na aktivní uhlí). V letech 2010 – 2013 jsou obsahy poměrně vyrovnané, roce 2014 se projevilo významné snížení o téměř ½ z hodnoty koncentrace v roce 2010. Z tabulky č. 22 je zřejmé, že obsah AOX v kalech vyhovuje limitům stanoveným vyhláškou č.382/2001 Sb.

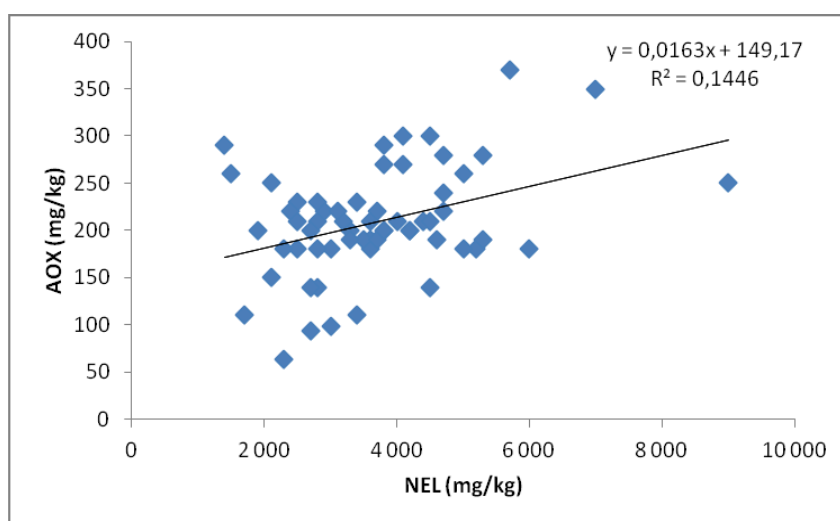
Tabulka č. 22: Základní statistické parametry- vývoj obsahů AOX v čase (mg/kg v sušině)

AOX	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	249,17	225,00	370,00	180,00	65,76
2011	215,83	205,00	280,00	180,00	32,52
2012	218,33	210,00	290,00	180,00	30,23
2013	221,67	215,00	290,00	190,00	31,58
2014	140,58	140,00	260,00	64,00	50,88

Uhlovodíky C₁₀-C₄₀ jsou ve vyhlášce 294/2005 Sb. limitovány koncentrací 300 mg/kg. I když je z tabulky č. zřejmý pokles koncentrací uhlovodíků v kalech od roku 2010 do roku 2014 o cca ½ jsou obsahy ještě cca 9 x vyšší než je limitní hodnota uváděná směrnicí. I v tomto případě, by se aplikace kalů pro povrchovou úpravu terénu musela vyřešit přípravou výrobku. Na obrázku je uvedena statisticky významná závislost mezi NEL (uhlovodíky C₁₀ – C₄₀) a obsahem AOX v kalu (hodnota koeficientu korelace $r=0.38$). Tato závislost dokumentuje společný zdroj organických polutantů v kalu.

Tabulka č. 23: Základní statistické parametry- vývoj obsahů uhlovodíků C10 – C40 v čase (mg/kg v sušině)

NEL (C10-C40)	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	4791,67	4600,00	7000,00	2500,00	1120,61
2011	4591,67	4150,00	9000,00	3300,00	1458,00
2012	3191,67	3100,00	5000,00	1400,00	880,77
2013	3175,00	3200,00	4600,00	1900,00	772,58
2014	2641,67	2700,00	4500,00	1500,00	758,79



Obrázek č. 9: Závislost mezi obsahem AOX (mg/kg) a NEL (mg/kg) v sušině kalu

Klíčovým parametrem pro použití kalů při povrchové úpravě terénu je obsah polyaromatických uhlovodíků. Vyhláškou č.294/2005 Sb. je pro povrchovou úpravu terénu povolen obsah 6 mg/kg ($\Sigma 12$ analytů PAU) [10].

Tabulka č. 24: Průměrné obsahy analytů PAU v sušině kalu (mg/kg)

Rok	Naftalen	Acenaftalen	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren
2010	2,508	60,333	12,183	3,775	0,771	4,017	2,817
2011	1,125	18,203	3,956	2,731	0,514	4,192	2,567
2012	0,483	5,173	1,105	1,999	0,658	4,000	2,493
2013	0,401	1,534	0,621	2,227	0,386	3,850	3,167
2014	0,324	2,044	0,596	1,943	0,675	2,625	1,817

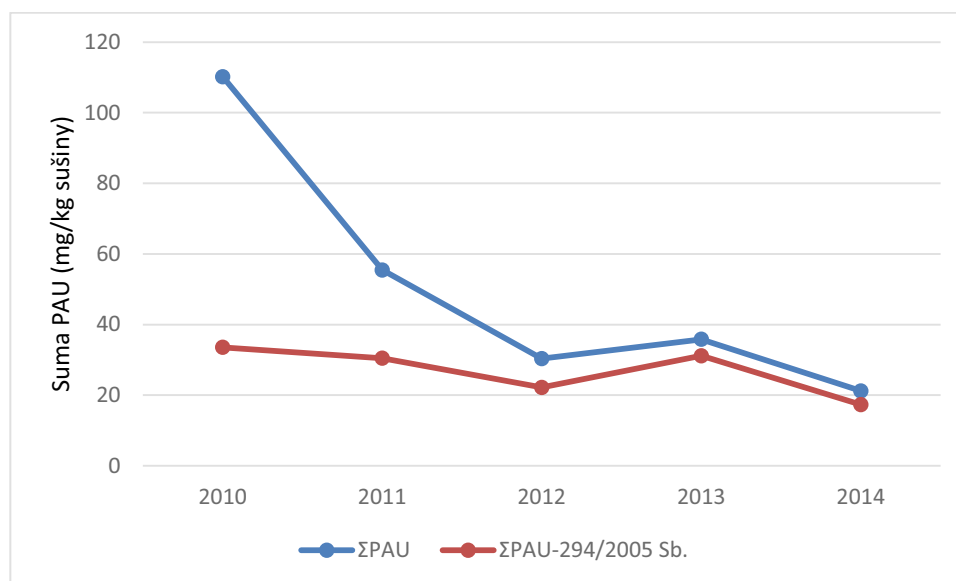
Tabulka č. 25: Průměrné obsahy analytů PAU v sušině kalu (mg/kg)

Rok	Benzo(a)antracen	Chrysen	Benzo(b)fluoranten	Benzo(k)fluoranten	Benzo(a)pyren
2010	3,708	2,167	4,117	2,350	4,567
2011	3,875	2,483	3,692	2,145	4,842
2012	2,992	1,750	2,317	1,340	2,658
2013	3,833	3,133	4,242	2,624	4,325
2014	1,664	1,501	1,708	1,301	2,292

Tabulka č. 26: Průměrné obsahy analytů PAU v sušině kalu (mg/kg)

Rok	Benzo(ghi)perylene	Dibenzo(ah)anthracen	Indeno(1,2,3-cd)pyren	ΣPAU	ΣPAU1
2011	2,033	0,264	0,264	55,417	30,46
2012	1,238	0,244	0,244	30,333	22,17
2013	2,692	0,251	0,251	35,833	31,13
2014	1,361	0,098	0,098	21,167	17,3

Vysvětlivky: šedě jsou vyznačeny analyty, které jsou sledovány podle vyhlášky č.294/2005 Sb.



Obrázek č. 10: Vývoj obsahu sumy polyaromatických uhlovodíků v sušině kalu z ÚČOV Ostrava

Z tabulky a z obrázku je zřejmé, že se nejvyšší koncentrací na sumě PAU podílel acenaftalen, který se vyskytuje hlavně v odpadních vodách z koksárenského průmyslu. Po odstavení Koksozny Šverma došlo k jeho významnému poklesu. V roce 2014 poklesl obsah sumy PAU na hodnoty 17 mg/kg sušiny. I tato hodnota je však trojnásobně vyšší než je limit udávaný vyhláškou, ale blíží se hodnotám PAU v kalech z ČOV v rámci České

republiky, kteří respektují požadovou hodnotu pro kaly v ČR 1 mg/kg, ale jako limit navrhovali 10 mg/kg. Navržení toho limitu vychází z úvahy, že v případě PAU jsou limity pouze 6 násobkem požadové hodnoty a u PCDD/F je limitní hodnota stonásobkem požadové hodnoty [25].

Podle vyhlášky č.294/2005 Sb. v posledním znění je jako limitující definován obsah PCB 1 mg/kg. Z výsledků uvedených v tabulce, je zřejmé, že obsahy PCB v kalech z ÚČOV Ostrava jsou výrazně pod limitem [10].

Tabulka č. 27: Základní statistické parametry- vývoj obsahu PCB v čase (mg/kg v sušině)

PCB	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	0,07	0,07	0,09	0,04	0,02
2011	0,04	0,03	0,09	0,02	0,02
2012	0,07	0,05	0,15	0,03	0,04
2013	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01
2014	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01

V případě použití kalů jako suroviny pro kompostování je obsah celkového organického uhlíku rozhodujícím parametrem z hlediska kvality suroviny – charakterizuje množství přítomných organických látek. Z tabulky č. 28 je zřejmé, že průměrný obsah TOC v roce 2014 klesl na hodnotu cca 18%, v roce 2013 a 2012 byla hodnota TOC téměř 26%. Z uvedených výsledků je zřejmé, že vzrůstá podíl anorganické složky, která by byla pro kompostování nežádoucí.

Tabulka č. 28: Základní statistické parametry- vývoj obsahu TOC v čase (% v sušině)

TOC	Průměr	Medián	Max. hodnota	Min. hodnota	SS odchylka
2010	21,43	18,35	41,80	11,60	8,84
2011	22,22	22,10	32,50	14,70	4,64
2012	25,50	25,15	40,80	19,80	5,22
2013	25,90	23,75	39,90	16,90	6,33
2014	17,96	16,35	26,30	12,40	4,67

5 CHARAKTERISTIKA ALTERNATIVNÍCH KOMPONENT PRO PŘÍPRAVU SMĚSÍ KE KOMPOSTOVÁNÍ

Kompostování s využitím kalů z čistíren odpadních vod a následná aplikace vyrobených kompostů v zemědělství připadá v úvahu zejména ke hnojení nebo k rekultivaci půd. Kompostování těchto kalů závisí ve značné míře na používaných komponovacích technologiích. Poměr C:N je ovlivněn charakterem kalů a nejčastěji u čistírenských kalů dosahuje hodnot 6-16:1. K procesu kompostování jsou vhodné zejména ty kaly, které jsou stabilizované, mají vysoký obsah organických látek a minerálních složek. U zpracování odpadních kalů ke kompostování je nutné znát kvalitu těchto kalů z hlediska fyzikálního, chemického i biologického. Pro použití vyrobených kompostů k přímému hnojení jsou následně určující agrotechnická kritéria a požadavky na výživu [20], [25].

Ekologové považují stav nakládání s kaly z čistíren odpadních vod v České republice za dobrý. Většina vyprodukovaného kalu je využita právě v kompostárnách a vyprodukovaný kompost je následně navezený jako organické hnojivo na zemědělskou půdu. Z čistíren odpadních vod vznikají různé druhy odpadů s rozmanitou kvalitou. [26].

Kompostování je využití kalu s nejvyššími nároky na jeho kvalitu, který musí splňovat požadavky na vynikající fyzikální, chemické i mikrobiologické vlastnosti. Musí být také vizuálně přijatelný (t.j. žádné plasty a pod.) a bez nepříjemného zápachu. Kaly mohou být kompostovány, jestliže obsahují dostatečné množství organické složky a mají-li relevantní obsah vody. Aby mohl být materiál využíván efektivně ke kompostování, je požadován dostatečný obsah živin (dusík, fosfor), vlhkost a schopnost aerace a vhodné podmínky pro existenci mikroorganismů. Kaly s vysokým obsahem vody nejsou vhodné pro růst mikroorganismů. Mohou být kompostovány, když se použijí ve vhodné směsi s jiným vysoce fermentovatelným organickým odpadem s nízkým obsahem vody. Kaly s obsahem vody > 15 % jsou dobře kompostovatelné ve směsi s kůrou nebo s jiným porézním materiálem, který vytváří vhodnou strukturu kompostovaného materiálu. Základním požadavkem je 55 % obsah vody v kompostovatelné směsi odpadů, aby došlo k účinné biodegradaci, musí být obsah organické složky větší než 70 %. Vysoká vlhkost okolo 60 % snižuje teplotu, porozitu a tím i obsah kyslíku, zatímco vlhkost pod 50 %

omezuje rychlost kompostování. Při 10-15 % vlhkosti se bakteriální aktivita zcela zastaví. Činnost bakterií je ovlivňována také pH, za optimální lze považovat rozsah mezi 5.5 – 8. Pro optimální růst mikroorganismů musí být dodržen správný poměr mezi uhlíkem a dusíkem v substrátu, který se pohybuje v rozmezí 25 – 30:1. Výzkumem organických mikropolutantů v kompostech bylo zjištěno, že obsahy pesticidů, PCB, PAU, PCDD/PCDF nemají zákonné restriktivní omezení v legislativě EU, neboť jejich obsahy jsou velmi nízké. Opakem je obsah těžkých kovů, které mohou být klíčovým parametrem pro další možné využití kompostů. Materiál je kompostován při teplotě, která je dostatečná pro likvidaci patogenů, tzn., že problém přítomnosti patogenních mikroorganismů je uspokojivě vyřešen. Také mikrobiální kompetice výrazně podporuje redukci patogenů. Využití kompostu pro aplikaci v půdách je omezeno obsahem solí a živin, které musí být nízké, zatímco retenční kapacita vody musí být dostatečně vysoká, aby byl zabezpečen dostatek vody a dostatečné provzdušňování, které vyžadují specifické typy vegetace [27].

Technologie kompostování:

Kompostování na volné ploše

V dnešních podmínkách je kompostování v pásových hromadách nejvhodnější a nejméně finančně nákladný způsob kompostování. Správný materiál se ukládá do pásových vrstev trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu. Délka těchto vrstev je ovlivněna délkou stanovišť. Hromady musí splňovat také určitá kritéria a to zajištění volného přístupu prac. techniky k hromadám kompostu, musí také zamezit ohrožení povrchových a podzemních vod, minimální spád kompostovací plochy činí 2 %, zabezpečení odvodu srážkových vod a splachů z kompostů do podzemních nebo povrchových jímek odpovídající velikosti. Nejvýhodnější se v praxi ukázaly pásové hromady, které mají lichoběžníkový průřez, protože vykazují nejmenší potřebu plochy na objem kompostovaného materiálu [28].

Kompostování ve vacích

Jednou z dalších možností, kterou je možno zpracovat biologicky rozložitelné odpady, je kompostování ve vaku. Z ekonomického pohledu je možné toto kompostování ve vaku zařadit mezi investičně výhodné technologie kompostování. Pozitivní je také fakt, že, celková provozní náročnost této kompostovací technologie je v porovnání s jinými způsoby zpracování biologicky rozložitelných odpadů méně náročná [29].

Vermikompostování

Při procesu vermikompostování se využívají žížaly, které mají schopnost přeměňovat rostlinné zbytky na kvalitní organické hnojivo neboli vermikompost. Velmi důležité u tohoto procesu je vždy zajistit pro žížaly správnou teplotu kolem 20 °C a optimální vlhkost substrátu. V zimním období je tedy nutné nenechávat tento kompostér venku bez izolace, v letním období ho nevystavovat přímému slunci, aby nedošlo k výparu vody a k přehřívání [30].

V Česku žije zhruba 50 druhů žížal, ale zdaleka ne všechny se k vermikompostování hodí. Použít lze běžnou žížalu hnojní (*Eisenia fetida*), ideální jsou však kalifornské žížaly (*Eisenia fetida andrei*), které se rychle množí a dokážou intenzivně přeměňovat bioodpad na vermikompost. [31].

5.1 Alternativní komponenty pro výrobu kompostů

Za klíčový lze definovat požadavek na optimální poměr C:N, který musí být zajištěn ve vstupní surovině a vlhkost, která by neměla být vyšší než 55%. V tabulce č. 29 jsou uvedeny výsledky majoritního složení kalu z ČOV, který byl odebrán 6.2.2015 a použit pro kompostování v mikrokompotéru NatureMill. Z tabulky vyplývá, že poměr C:N je velmi nízký (7:1) a správná skladba surovin pro výrobu kompostu bude vyžadovat materiál s vysokým obsahem uhlíku a minimálním obsahem dusíku.

Tabulka č. 29: Obsah majoritních prvků a popelovin v kalu z ÚČOV Ostrava

Vzorek	N	C	H	S	Vlhkost	Obsah popelovin
	(%)					
kal 6.2.2015	4,079	27,198	8,327	0,1	55	50,5 %

5.2 Hygienizace a stabilizace kalu

Úprava kalů z ČOV s následným využitím je jedním ze základních požadavků ochrany ŽP. Surový kal obsahuje okolo 70 % org. látek v sušině, proto je možná přítomnost patogenních organismů. Dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech, který byl novelizován je surový kal definován jako nebezpečný odpad. Z tohoto důvodu musí přijít surový kal na ČOV do styku s takovou technologií, která promění surový kal na stabilizovaný materiál, který ztrácí svou nebezpečnou vlastnost a může být dále využit např. ke kompostování. Za hygienizovaný kal se pokládá kal, který již prošel takovou úpravou, že počty indikátorů patogenních mikroorganismů byly sníženy na požadovanou hodnotu. Stabilizace i hygienizace může, ale nemusí probíhat současně stejnou technologií [32], [33], [34].

Metody hygienizace:

1) fyzikální metody- tepelné úpravy (pasterizace kalu před stabilizací, aerotermní hygienizace před stabilizací, sušení odvodněného kalu stabilizovaného kalu spalování odvodněného kalu)

radiační metody

ultrazvukové metody

2) chemické metody

hygienizace páleným vápnem

3) biotechnologické metody

souběh stabilizace a hygienizace kalů

anaerobní termofilie [35]

Stabilizace - dosažení míry určitých vlastností kalu, vyjadřující vhodnost kalu pro určitý způsob jeho dalšího využití. - stav, kdy je kal “stabilní“ tj. nepodléhá intenzivnímu samovolnému rozkladu, neovlivňuje negativně prostředí

Metody stabilizace kalů

- a) Anaerobní stabilizace (mezofilní, termofilní, fázování teploty, A
- b) Aerobní stabilizace (simultánní, oddělená, autotermní (termofilní)
- c) Chemické a fyzikální metody stabilizace kalů (stabilizace vápnem, sušení kalu)

[35]

5.3 Využití kompostu z odpadních kalů

5.3.1 Hnojení

Použití kompostu, který obsahuje čistírenské kaly v zemědělství je vhodné pro všechny plodiny, které jsou náročné na organické hnojení. Dávkování se pohybuje od 20 do 100 t/ha, průměrná dávka činí 30-40 t/ha stejně jako u hnoje. Cykly hnojení na lehčích půdách jsou v intervalech co 2 až 3 roky a 3 až 4 roky na půdách těžších. Aplikace kompostů se provádí nejčastěji na podzim, na jaře pak jen když se jedná o lehčí půdy [36].

5.3.2 Rekultivační substráty

Dále se komposty z kalů z ČOV mohou využívat k tvorbě rekultivačních substrátů, kdy se mísí se zeminou z důvodu vylepšení jejich fyzikálních vlastností. K agrotechnickému využití slouží mulčkompost, který je určen nejčastěji k vytváření nastýlky neboli mulče organické hmoty kolem výsadeb květin, keřů, dřevin. Mulč slouží při rekultivacích půdy, která není zemědělská a při zakládání technických trávníků. [37]

5.3.3 Biopalivo

Komposty s obsahem čistírenských kalů lze také využít jako biopalivo, kdy je tento kompost k energetickému využití je v souladu s vyhláškou č. 5/2007 Sb. (o stanovení druhů, způsobu využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy), má drobovitou, hrudkovitou až vláknitou strukturu a ve směsi jsou patrné vstupní složky biomasy (kůra, větve, sláma aj.). Palivo je určené k spalování v kotlích na tuhá paliva [37].

5.4 BRKO

Biologicky rozložitelné komunální odpady neboli BRKO patří taktéž do skupiny BRO, ale jsou i kvantitativně významnou skupinou tzv. směsných odpadů: jejich podíl je, v závislosti na oblasti, kolem 40 %. BRKO mají různorodé vlastnosti a proto je jejich sběr, zpracování a odstraňování obtížné. Mají i negativní vliv na životní prostředí, jedná se zejména o tvorbu skleníkových plynů a kyselých výluhů při hydrologických procesech. Životní prostředí může být dosti ovlivněno i způsobem nakládání s nimi, a to jak pozitivně, tak negativně. Některé druhy odpadů, které jsou řazeny mezi BRKO, však mají jen určitý podíl biologicky rozložitelné složky [31].

Nová vyhláška č.321/2014 Ministerstva životního prostředí „o rozsahu a způsobu soustřeďování složek komunálních odpadů“ určila několik způsobů, které obce mohou využít pro splnění zákonné povinnosti nakládání s BRKO. Z průzkumu vyplynulo, že malé (do 500 obyvatel) a střední obce (do 3 000 obyvatel) převážně volí jeden způsob. Naopak obce do 20 tisíc obyvatel a obce s více jak 20 tisíci obyvatel volí především kombinace. Můžeme konstatovat, že pytlový sběr je vůbec nejméně využívaný způsob třídění BRKO. Jako nejběžnější způsoby třídění BRKO obce volí [11]:

- Obce, které mají do 500 obyvatel nejběžněji volí velkoobjemové kontejnery- 27 %, sběrné nádoby neboli hnědé popelnice- 17 %, komunitní kompostování- 13 %
- Obce, které mají do 3 000 obyvatel nejběžněji volí velkoobjemové kontejnery- 22 %, sběrné nádoby neboli hnědé popelnice – 16 %, komunitní kompostování – 12 %
- Obce, které mají do 20 000 obyvatel nejběžněji volí kombinace: sběrný dvůr nebo velkoobjemový kontejner- 16 %, kombinace: sběrný dvůr nebo sběrné nádoby- 13 %, sběrné nádoby neboli hnědé popelnice- 13 % a sběrný dvůr – 11 %
- Obce, které mají nad 20 000 obyvatel nejčastěji volí kombinace: sběrný dvůr nebo sběrné nádoby – 29 % nebo kombinace: sběrný dvůr nebo velkoobjemový kontejner či sběrné nádoby – 20 % [11]

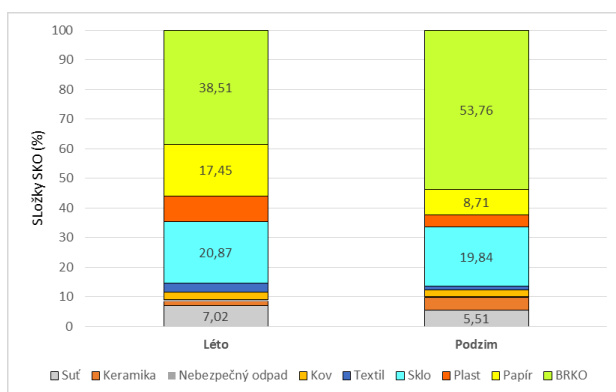
Zavedením platnosti této vyhlášky se předpokládá určitá nadprodukce biologicky rozložitelných odpadů, které se budou muset správným způsobem využít.

Pro výrobu kompostu z kalů se alternativně uvažuje s využitím frakce BRKO ze separovaného komunálního odpadu v rámci OZO Ostrava v rámci nově budovaného závodu na výrobu kompostu, který bude provozovat firma INGEA Recyklace, s.r.o. Pro návrh optimálního složení surovinové skladby byly odebrány 2 vzorky směsného komunálního odpadu, který byl ručně vytríděn na jednotlivé složky.

Vzorek SKO za letní období měl hmotnost 120 kg, vlhkost vzorku byl 53.37%. Po homogenizaci a kvartaci, byl vzorek ručně vytríděn (40 kg). Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 30. Z tabulky i obrázku je zřejmé, že BRKO v separovaném komunálním odpadu města Ostravy tvoří 40 – 50 % v závislosti na ročním období [38].

Tabulka č. 30: Zastoupení jednotlivých složek obsažených v komunálním odpadu (% v sušině) [38]

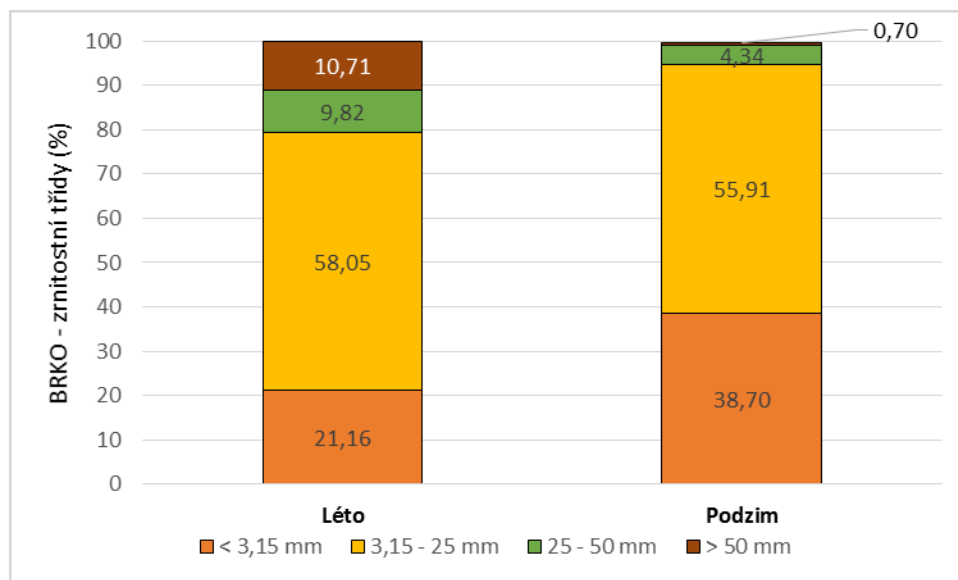
	Léto	Podzim
Suť	7,02	5,51
Keramika	1,45	4,31
Nebezpečný odpad	0,53	0,24
Kov	2,56	2,27
Textil	2,97	1,30
Sklo	20,87	19,84
Plast	8,61	4,05
Papír	17,45	8,71
BRKO	38,51	53,76



Obrázek č. 11: Podíl BRKO v separovaném komunálním odpadu [37]

Z obrázku č. 11 vyplývá, že největší podíl BRKO je zastoupen v zrnitostní třídě 3.12 – 25 mm. Z jednotlivých zrnitostních tříd byla provedena chemická analýza, která je uvedena v tabulce č. 31 pro majoritní prvky a obsah anorganické složky – popelovin a

v tabulce č., kde jsou uvedeny obsahy rizikových prvků. Chemická analýza biogenních prvků (C,H,N,S) byla provedena na elementárním analyzátoru Eurovector v laboratoři IGI, VŠB – TU Ostrava. Analýza ostatních prvků byla provedena mobilním RTG-fluorescenčním spektrometrem Innov X.



Obrázek č. 12: Zrnitostní třídy BRKO (%)

Tabulka č. 31: Výsledky chemické analýzy majoritních prvků v BRKO vyseparovaném v rámci letního odběru SKO [37]

Zrnitostní třída (mm)	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Výnos (%)	% N	% C	C:N	% H
> 50	0,53	0,49	5,18	1,58	4,51	0,60	10,71	1,198	35,6	30	9,11
25 - 50	0,70	0,40	2,49	1,00	3,99	0,61	9,82	1,255	31,77	25	7,659
12,5 - 25	0,46	0,56	3,12	1,25	4,14	0,46	17,88	1,798	28,745	16	7,518
6,3 - 12,5	0,46	0,74	1,35	0,87	4,61	0,80	25,94	1,319	29,983	23	8,059
3,15 - 6,3	0,54	0,83	0,33	1,23	5,44	0,91	14,23	1,194	26,492	22	7,146
2,5 - 3,15	0,83	0,83	0,76	1,02	5,99	1,00	3,25	1,129	23,896	21	6,59
2 - 2,5	0,48	0,52	1,90	0,88	4,02	4,84	3,48	0,88	16,773	19	4,463
1,6 - 2	0,52	0,81	0,59	0,86	5,92	0,95	3,63	1,087	20,798	19	5,49
1 - 1,6	0,57	1,15	0,46	0,91	6,62	1,22	3,71	0,91	17,662	19	4,779
0,5 - 1	0,57	0,93	2,03	1,09	5,85	1,17	4,69	0,728	14,852	20	3,447
0,25 - 0,5	0,49	0,87	1,56	1,00	6,17	1,18	1,66	1,108	21,645	20	5,674
< 0,25	0,53	0,90	1,23	0,97	6,59	1,35	0,46	1,099	20,815	19	5,473
Celk. vz.	0,34	0,35	9,29	1,68	5,67	0,87	0,27	1,85	31,60	17	6,95

Tabulka č. 32: Obsah kovů v jednotlivých třídách vyseparované BRKO [37]

Zrnitostní třída (mm)	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Pb
(mg/kg sušiny)											
> 50	346	MD	MD	44	370	3	MD	26	18	23	62
25 - 50	351	MD	MD	27	298	MD	2	30	20	16	27
12,5 - 25	216	MD	MD	88	320	MD	MD	27	22	MD	44
6,3 - 12,5	235	MD	MD	45	511	3	MD	31	24	17	43
3,15 - 6,3	579	MD	MD	46	1344	8	4	19	15	168	63
2,5 - 3,15	443	MD	MD	82	634	8	5	18	11	MD	78
2 - 2,5	729	MD	MD	219	1001	30	2	20	13	17	175
1,6 - 2	417	MD	MD	253	607	6	2	21	MD	28	90
1 - 1,6	465	MD	8	56	626	14	3	17	10	36	1152
0,5 - 1	477	MD	11	67	1051	11	2	17	16	17	87
0,25 - 0,5	544	MD	7	79	725	9	3	15	13	16	318
< 0,25	601	MD	MD	104	755	15	2	19	17	15	184
Celk. vz.	MD	MD	MD	MD	32	MD	6	39	24	18	MD

Z tabulky č. 32 je zřejmé, že poměru C:N vyhovují všechny třídy do zrnitosti 3.15 mm, což jsou třídy, které tvoří cca 68 % z BRKO. Odsítováním nejjemnozrnnějšího podílu by také došlo k významnému snížení obsahu popelovin v BRKO. Z uvedených výsledků je zřejmé, že vyseparované BRKO z SKO vyhovuje jako surovina do kompostu, ale celkově nestačí vylepšit špatnou bilanci kalů v poměru C:N = 7:1 – 10:1. Hodnota 10:1 byla zjištěna jako průměrná hodnota ze všech analyzovaných vzorků (5 let x 12 měsíců). Jediným možným řešením je přidavek dalšího materiálu, který ovlivní strukturu kompostu z hlediska zrnitosti, a to je kůra, případně štěpka nebo pouze pro dobilancování poměru přidavek pilin.

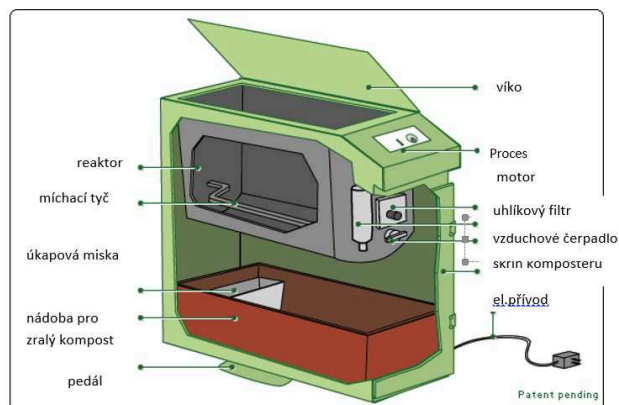
6 KOMPOSTOVÁNÍ V ZAŘÍZENÍ NATURE MIKRO-MILL

Připravené směsi s pilinami a zeminou byly kompostovány v minikomposteru NatureMill model NM125 v laboratořích VŠB – TU Ostrava, Institut geologického inženýrství. Kompostér je určen pro kuchyňský i zahradní bioodpad, dále zvířecí exkrementy včetně podestýlky a papír. Kapacita kompostéru činí 2,5 kg na den, celkové množství do 7 kg za jeden týden. Doba zrání trvá 14 dnů. Teplota během kompostovacího procesu dosahuje až 60°C.

Vsázka byla vypočtena tak, aby byl využit kal z ÚČOV Ostrava a piliny a to 20 % kalu a 80 % pilin + doplněna 600 ml zeminy (zahradní substrát zakoupen v OBI) pro bakteriální oživení na 2,6 kg při splnění podmínky poměru C:N = 30:1. V kombinaci s BRKO, které nepotřebovalo úpravu poměru C:N byla směs namíchaná v těchto

poměrech: 30 % BRKO + 14 % kal z ÚČOV Ostrava + 46 % pilin. Kompostování probíhalo 10 dní, vyzrávání ve spodní části kompostéru (hnědý zásobník) 14 dní.

Ztráta organického uhlíku během tohoto procesu se pohybuje v rozmezí 6 až 32% v závislosti na charakteru kompostované biomasy. 29 % původního org. uhlíku se uvolnilo ve formě CO₂. Množství uvolněného CO₂ je ovlivněno obsahem ligninu v biomase, který se rozkládá velmi pomalu. Vyšší ztráty celkového organického uhlíku mezi 20 – 60 %. Ztráty uhlíku během procesu jsou odhadovány v rozmezí 6 – 32%, průměrně tedy na cca 15 % [39], [40], [41].



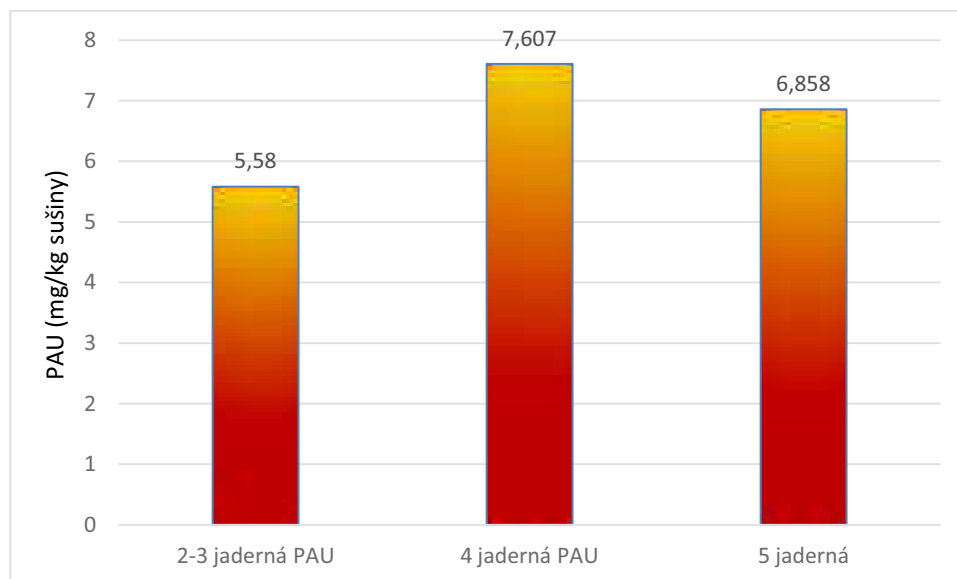
Obrázek č. 13: Schéma kompostéru NatureMill NM 125 [42]

Vstupní surovina pro výrobu kompostu obsahovala 36.22 % C a 1.14 % N_{celk}. Po čtrnáctidenním kompostování v uzavřeném kompostéru klesl obsah uhlíku o 28 % na hodnotu 26.12 %. Během kompostování se ztratilo přibližně 40 hm%, což vyplývá z rozdílu hmotností vstupní suroviny a vyzrálého kompostu.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že z vyseparované BRKO a kalu z ČOV lze připravit vhodnou vstupní surovinu pro přípravu kompostu. Kompost bude vyhovovat poměr C:N, ale nebude splňovat kvalitativní požadavky podle vyhlášky o nakládání s bioodpady 341/2008 Sb. [10].

7 VYHODNOCENÍ

I když kompost lze vhodně zvolenou volbou vstupních surovin vyrobit, pravděpodobně z hlediska jeho dalšího využití nebude vyhovovat obsahem rizikových prvků a polyaromatických uhlovodíků. Na obrázku je uveden obsah polyaromatických uhlovodíků podle počtu benzenových jader (průměrná hodnota za rok 2014). Na základě biologické odbouratelnosti 3-jaderných PAU lze předpokládat, že během procesu kompostování budou všechny rozloženy. U 4-jaderných PAU lze předpokládat, že maximálně 60 % z celkového obsahu může být biologickou cestou rozloženo, tzn., že se očekává pokles na 3.0 mg/kg. Pětí jaderné PAU nelze klasickým procesem kompostování rozložit, jejich koncentrace zůstane zachována (6.85 mg/kg). Celkem lze předpokládat, že se během procesu kompostování sníží koncentrace PAU na cca 10 mg/kg. Vzhledem k tomu, že při úbytku organické hmoty (40 %) musí dojít k zakonzentrování těchto nerozložitelných složek měla by koncentrace PAU vzrůst na hodnotu okolo 14 mg/kg.



Obrázek č. 14: Obsah PAU v kalech z ÚČOV v roce 2014 – uspořádané podle počtu konjugovaných benzenových jader

Druhým problémovým faktorem je koncentrace Cd, kdy celkový vzorek BRKO obsahuje 24 mg/kg PAU a kal obsahuje 2.083 mg/kg Cd. I v tomto případě dojde k navýšení koncentrace ve výsledném kompostu.

Z uvedených výsledků vyplývá, že kal z ÚČOV Ostrava i část BRKO ze separovaného komunálního odpadu lze v směsi s pilinami nebo dřevní štěpkou využít k výrobě kompostu. Uplatnění tohoto kompostu na trhu, ale bude mít problém, neboť nejsou splněny limity kvality vyžadované legislativou (vyhláška č. 294/2005 Sb. a vyhláška č.341/2008 Sb.), a to u polyaromatických uhlovodíků a kadmia. V tomto případě lze lepší kvalitu kompostu zajistit změnou poměrů ve vstupních surovinách (větší množství odpadní zeleně nebo štěpky a snížení podílu kalů i BRKO).

8. ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověření možnosti vhodné volby surovin pro výrobu kompostů s tím, že bude využit kal z ÚČOV Ostrava a biologicky rozložitelný komunální odpad vyseparovaný z SKO. Předložená práce prokázala, že lze navrhnout takovou surovinovou skladbu, kdy výsledný kompost bude splňovat požadavky hodnoty poměru C:N, která je požadována jako základní kvalitativní parametr kompostu. Dodržením vhodné surovinové skladby, ale nebude zajištěna příslušná kvalita kompostu z hlediska jeho další aplikace, například pro povrchovou úpravu terénu a rekultivace podle vyhlášky č.294/2005 Sb. v posledním znění. V tomto případě se nepodaří splnit požadavky obsahu polyaromatických uhlovodíků a obsahu Cd, který je vysoký jak v kalech tak i v BRKO.

Vyrobený kompost, který ztratil pouze 28 % z celkového uhlíku bude možné využít v energetice, při splnění dalších klíčových požadavků, a to výhřevnost 10 MJ/kg sušiny.

Řešení situace nakládání s kaly pro OVAK, a.s. je klíčovým problémem. S poklesem rekultivačních prací lze uplatnit menší množství kalů ve formě výrobku a do budoucna je potřeba najít uspokojivé řešení tohoto problému.

Seznam použité literatury:

- [1] Science Direct. *Sewage Sludge Aerobic Composting Technology Research Progress* [online]. 2012 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212671612000534>
- [2] KALINA, Miroslav. *Kompostování a péče o půdu*. 2. upr. vyd. Praha: Grada, 2004, 116 s. Česká zahrada. ISBN 80-247-0907-4.
- [3] What is Compost. *Compost* [online]. 2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://gardening.about.com/od/gardenprimer/g/Compost.htm>
- [4] Biom. VÁŇA, Jaroslav. *Kompostování odpadů* [online]. 2009 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>
- [5] PLÍVA, Petr a Mária KOLLÁROVÁ. *Kompostování na volné ploše*. Brno, 2010. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/clanky/zivotniprostredi/VUZT14Kompost.pdf?menuid=150>. Článek. VÚZT.
- [6] Poměr C:N. *Co lze kompostovat* [online]. 2007 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?hl=cs&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1024&bih=499&q=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&oq=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&gs_l=img.3...899.899.0.2642.1.1.0.0.0.94.94.1.1.0.mse dr...0...1ac.1.64.img..1.0.0.JXKco4dZ48w#hl=cs&tbm=isch&q=Pom%C4%9Br+C:N+u+k ompostov%C3%A1n%C3%AD&imgcr=xpmrmZr9J6HRXM%253A%3BKifSUY8HIJbo4 M%3Bhttp%253A%252F%252F
- [7] Zvýšení půdní úrodnosti. *Sakeyův diagram* [online]. 2008 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?hl=cs&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1024&bih=499&q=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&oq=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&gs_l=img.3...899.899.0.2642.1.1.0.0.0.94.94.1.1.0.mse dr...0...1ac.1.64.img..1.0.0.JXKco4dZ48w#hl=cs&tbm=isch&q=Pom%C4%9Br+C:N+u+k ompostov%C3%A1n%C3%AD&imgcr=xpmrmZr9J6HRXM%253A%3BKifSUY8HIJbo4 M%3Bhttp%253A%252F%252F

AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&oq=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&gs_l=img.3...899.899.0.2642.1.1.0.0.0.94.94.1.1.0.mse dr...0...1ac.1.64.img..1.0.0.JXKco4dZ48w#hl=cs&tbm=isch&q=Sankey%C5%AFv+diagram+&imgsrc=hIvhH2_M3XTWLM%253A%3B9DUEbYgA_D-FZM%3Bhttp%253A%252F%252Fweb2.mendelu.cz%2

[8] EAGRI Životní prostředí. *Zpracování čistírenských kalů na ČOV metodou intenzivního kompostování na technický substrát* [online]. 2010 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/znecisteni-zivotniho-prostredi/integrovana-prevence-a-omezovani/zpravy-studie-k-vyrobnim-cinnostem/tps-kategorie-6-5/zpracovani-cistirenskych-kalu-na-cov.html>

[9] Biologické metody zpracování odpadů. *Fáze kompostování* [online]. 2007 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?hl=cs&site=img&tbm=isch&source=hp&biw=1024&bih=499&q=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&oq=Pom%C4%9Br+C%3AN+u+r%C5%AFzn%C3%BDch+materi%C3%A1l%C5%AF+vhodn%C3%BDch+ke+kompostov%C3%A1n%C3%AD+&gs_l=img.3...899.899.0.2642.1.1.0.0.0.94.94.1.1.0.mse dr...0...1ac.1.64.img..1.0.0.JXKco4dZ48w#hl=cs&tbm=isch&q=f%C3%A1ze+kompostov%C3%A1n%C3%AD&imgsrc=hQeCqDXkFVgmEM%253A%3BON6OImjczp0RvM%3Bhttp%253A%252F%252Fhgfl0.v

[10] KOMPOSTUJ.CZ. *Legislativa* [online]. 2009 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/legislativa/>

[11] Hospodářské noviny. *Vzor obecně závazné vyhlášky obce k třídění bioodpadu a kovů* [online]. 2014 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://ihned.cz/c1-63218820-vzor-obecne-zavazne-vyhlaskey-obce-k-trideni-bioodpadu-a-kovu-uz-je-k-dispozici>

[12] DOŠKÁŘOVÁ, Šárka. *Ekotoxicita kalů z ústřední čistírny odpadních vod* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:

https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/95094/DOS169_HGF_P3904_3904V012_2012.pdf?sequence=1. Disertační práce. VŠB-TUO.

[13] VÍTĚZ, T. GRODA, B.: Čištění a čistírny odpadních vod. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, ISBN: 978-80-7375-180-7.

[14] *Salmonella* spp. *Základní charakteristika* [online]. 2008 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/alimentarni-onemocneni/sal/index.html>

[15] Vodárenství.cz. *Víme, co pijeme* [online]. 2010 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.vodarenstvi.cz/clanky/vime-co-pijeme-overovani-mikrobiologicke-nezavadnosti>

[16] EuroClean. *Bakterie ve vodě* [online]. 2012 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://euroclean.cz/bakterie-ve-vode/>

[17] Water Treatment Solutions Lenntech. *Heavy Metals* [online]. 2008 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm#ixzz3Y8e1jQB4>

[18] RACLAVSKÁ, Helena. *Technologie zpracování kalů z ČOV*. Ostrava, 2007. Monografie. Vysoká škola Báňská, technická univerzita.

[19] HLAVSOVÁ, Adéla a Helena RACLAVSKÁ. *Investigation of the effect of hygienization and moisture content of sewage sludge on pyrolysis products. Advanced Materials Researc*. Ostrava, 2014. Dostupné z: www.scientific.net/AMR.926-930.7. Publikace. Vysoká škola Báňská TUO.

[20] Zpracování kalů. LYČKOVÁ, Barbora, Peter FEČKO a Radmila KUČEROVÁ. *Využití odpadních kalů* [online]. 2008 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/vyuziti.html>

- [21] Aplikace kalů z ČOV na zemědělskou půdu s ohledem zejména na obsah těžkých kovů v kalech. In: HRNČÍŘOVÁ, Jana. *Aplikace kalů z ČOV* [online]. 2010 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.registrpovinnosti.com/df23h54/odpady/registrlegislative/Aplikace_kalu.pdf
- [22] Ministerstvo životního prostředí České republiky. *Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě* [online]. 2002 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/384b1f568b108495c12570060046ea82?OpenDocument>
- [23] UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. *What are Persistent Organic Pollutants (POPs)?* [online]. 2011 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/capacity-building-for-the-implementation-of-multilateral-environmental-agreements/the-stockholm-convention/facts-and-figures/what-are-persistent-organic-pollutants-pops.html>
- [24] VÁCHA, Radim, Viera HORVÁTHOVÁ, Markéta VYSLOUŽILOVÁ a ČECHMÁNKOVÁ. Chemické listy. *PROBL...M PERZISTENTNÍCH ORGANICKÝCH POLUTANTŮ V ČISTÍRENSKÝCH KALECH URČENÝCH K APLIKACI NA ZEMĚDĚLSKOU PŮDU*. 2007, č. 101. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_10_811-815.pdf
- [25] SÝKOROVÁ, Petra, Dagmar JUCHELKOVÁ, Martina KUČEROVÁ a Konstantin RACLAVSKÝ. *The possibilities of influencing the content of nitrogen in composts utilized for energy production*. Ostrava, 2012. Publikace. Vysoká škola Báňská TUO.
- [26] Biologické metody zpracování odpadů. *Technologie kompostování* [online]. 2011 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/bmzo/pages/Technologie_kompostovani.html

- [27] Multimediální výukový text zaměřený na Kompostování. [online]. [cit. 2015-21-04]
Dostupné z WWW:
http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Kompostování.pdf
- [28] MEJZLÍK, Petr. *Technologie kompostování ve vacích a vermikompostování*. České Budějovice, 2013. Dostupné z: https://theses.cz/id/b3197t/BP_Mejzlk_Petr_3_ZT.pdf.
Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH.
- [29] Biologické metody zpracování odpadů. *Technologie kompostování* [online]. 2011 [cit. 2015-04-24].
Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/bmzo/pages/Technologie_kompostovani.html
- [30] KOMPOSTUJ.CZ. *Vermikompostování* [online]. 2009 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z:
<http://www.kompostuj.cz/vime-jak/vermikompostovani/>
- [31] Veronica Ekologický institut. *Žízalové kompostování* [online]. 2014 [cit. 2015-04-24].
Dostupné z: <http://www.veronica.cz/?id=360>
- [32] Technologie ČOV. *Komponenty pro hygienizaci odvodněného kalu* [online]. 2012 [cit. 2015-04-27].
Dostupné z: <http://www.esb-rozvadece.cz/komponenty-pro-hygienizaci-kalu.php>
- [33] KRIŠTOFÍK, Jan. https://www.google.cz/?gws_rd=ssl#q=hygienizace+kal%C5%AF.
Brno, 2006. Dostupné z:
https://www.google.cz/?gws_rd=ssl#q=hygienizace+kal%C5%AF. Bakalářská práce.
Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- [34] Operační program životní prostředí. HABART, Jan, Milan HRČKA, Marian HUMPLÍK a Karolína MAREŠOVÁ. *Příprava a výstavba kompostáren využívajících biologicky rozložitelné odpady z domácností a údržby městské zeleně* [online]. 2009 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/>

- [35] TLOLKA, Jan a Karel HARTIG. SmVaK Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s. *Srovnávací analýza možných způsobů hygienizace kalů* [online]. 2010 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: http://www.vodaforum.cz/prezentace/zakaznici/vodaforum/dokumenty/pdf/f73_30-20-tlolka.pdf
- [36] Zpracování kalů. LYČKOVÁ, Barbora, Peter FEČKO a Radmila KUČEROVÁ. *Využití odpadních kalů* [online]. 2008 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/vyuziti.html>
- [37] NĚMCOVÁ, Miroslava. *KOMPOSTOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ MALÝCH PRODUCENTŮ* [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=75569.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [38] RACLAVSKÁ, Helena. *Stanovení podmínek pro energetické využití BRKO*. Ostrava, 2014. Publikace. Vysoká škola Báňská TUO.
- [39] RACLAVSKÁ, Helena a Hana ŠKROBÁNKOVÁ. *Conditions for energy generation as an alternative approach to compost utilization*. Ostrava, 2011. Publikace. Vysoká škola Báňská TUO.
- [40] Atkinson C.F., Jones D.D., Gauthier J.J. (1996): Biodegradability and microbial activities during composting of poultry litter. *Polut. Sci.*, V.75, 608-617.
- [41] Rehka P., Raj Suman D.S., Aparna C., Bindu Hima V., Anjaneyulu Y. (2005): Bioremediation of contaminated lake sediments and evaluation of maturity indices as indicator of compost stability. *Int.J.Environ.Res.Public Health*, 2(2), 251-262
- [42] People Powered Machines. *Naturemill Pet-friendly Automatic Composter* [online]. 2008 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.peoplepoweredmachines.com/naturemill/naturemill_pet.htm

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Poměr C:N u různých materiálů vhodných ke kompostování [6]	4
Obrázek č. 2: Sankeyův diagram pro proces kompostování [7]	5
Obrázek č. 3: Fáze kompostování [9]	7
Obrázek č. 4: Vývoj amoniakálního dusíku v čase v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině)	15
Obrázek č. 5: Závislost P_2O_5 (% v sušině) a MgO (mg/kg v sušině)	16
Obrázek č. 6: Závislost mezi pH a obsahem CaO (% v sušině)	18
Obrázek č. 7: Vývoj obsahu Cd v jednotlivých měsících	20
Obrázek č. 8: Vývoj obsahu Cd v jednotlivých měsících	23
Obrázek č. 9: Závislost mezi obsahem AOX (mg/kg) a NEL (mg/kg) v sušině kalu	27
Obrázek č. 10: Vývoj obsahu sumy polyaromatických uhlovodíků v sušině kalu z ÚČOV Ostrava	28
Obrázek č. 11: Podíl BRKO v separovaném komunálním odpadu [37]	36
Obrázek č. 12: Zrnitostní třídy BRKO (%)	37
Obrázek č. 13: Schéma kompostéru NatureMill NM 125 [42]	39
Obrázek č. 14: Obsah PAU v kalech z ÚČOV v roce 2014 – uspořádané podle počtu konjugovaných benzenových jader	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Poměr C:N v některých surovinách ke kompostování [2].....	4
Tabulka č. 2: Mikrobiologické ukazatele- salmonela v kalech z ÚČOV Ostrava.....	12
Tabulka č. 3: Mikrobiologické ukazatele- enterokoky v kalech z ÚČOV Ostrava.....	12
Tabulka č. 4: Mikrobiologické ukazatele- termotol. Kolif. Bakterie v kalech z ÚČOV Ostrava.....	12
Tabulka č. 5: Základní statistické parametry obsahu celkového dusíku v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině).....	14
Tabulka č. 6: Základní statistické parametry koncentrace amoniakálního dusíku v kalech z ÚČOV Ostrava.....	15
Tabulka č. 7: Základní statistické parametry koncentrace P_2O_5 v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině).....	16
Tabulka č. 8: Základní statistické parametry koncentrace K_2O v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině).....	17
Tabulka č. 9: Základní statistické parametry pro koncentraci CaO v kalech z ÚČOV Ostrava (% v sušině).....	17
Tabulka č. 10: Základní statistické parametry pro obsah sušiny v kalech z ÚČOV Ostrava (%).....	17
Tabulka č. 11: Základní statistické parametry pro acidobazickou reakci v kalech z ÚČOV Ostrava.....	18
Tabulka č. 12: Základní statistické parametry obsahu As v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	19
Tabulka č. 13: Základní statistické parametry obsahu Cd v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	20
Tabulka č. 14: Základní statistické parametry obsahu Cr v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	21
Tabulka č. 15: Základní statistické parametry obsahu Cu v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	21
Tabulka č. 16: Základní statistické parametry obsahu Hg v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	21
Tabulka č. 17: Základní statistické parametry obsahu Ni v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	22
Tabulka č. 18: Základní statistické parametry obsahu Pb v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	22
Tabulka č. 19: Základní statistické parametry v obsahu Zn v kalech z ÚČOV Ostrava (mg/kg v sušině).....	23
Tabulka č. 20: Požadavky na obsah kovů v surovinách pro výrobu kompostu dle EU [18].....	24
Tabulka č. 21: Základní statistické parametry- vývoj obsahů EOX v čase (mg/kg v sušině).....	26
Tabulka č. 22: Základní statistické parametry- vývoj obsahů EOX v čase (mg/kg v sušině).....	26
Tabulka č. 23: Základní statistické parametry- vývoj obsahů uhlovodíku C10 – C40 v čase (mg/kg v sušině).....	27
Tabulka č. 24: Průměrné obsahy anolytů PAU v sušině kalu (mg/kg).....	27
Tabulka č. 25: Průměrné obsahy anolytů PAU v sušině kalu (mg/kg).....	28
Tabulka č. 26: Průměrné obsahy anolytů PAU v sušině kalu (mg/kg).....	28

Tabulka č. 27: Základní statistické parametry- vývoj obsahu PCB v čase (mg/kg v sušině)	29
Tabulka č. 28: Základní statistické parametry- vývoj obsahu TOC v čase (% v sušině)	29
Tabulka č. 29: Obsah majoritních prvků a popelovin v kalu z ÚČOV Ostrava	32
Tabulka č. 30: Zastoupení jednotlivých složek obsažených v komunálním odpadu (% v sušině) [38]	36
Tabulka č. 31: Výsledky chemické analýzy majoritních prvků v BRKO vyseparovaném v rámci letního odběru SKO [37]	37
Tabulka č. 32: Obsah kovů v jednotlivých třídách vyseparované BRKO [37]	38